**ERNST ROEDERSTEIN**
Spezialfabrik für Kondensatoren GmbH
Landshut/Bay.

**DITRATHERM**
Halbleitervertrieb der Ernst Roederstein GmbH
Landshut/Bay.

**ERO TANTAL**
**KONDENSATOREN GMBH**
Landshut/Bay.

**RESISTA**
Fabrik elektrischer Widerstände GmbH
Landshut/Bay.

**KESTAFIL**
Spezialfabrik keramischer Bauelemente GmbH
Landshut/Bay.

**ROEDERSTEIN & TÜRK KG**
Fabrik elektrischer Bauelemente
Kirchzarten bei Freiburg

**ERO-STARKSTROM**
**KONDENSATOREN GMBH**
Landshut/Bay.

# ROEDERSTEIN 20·74 KONDENSATOREN- UND WIDERSTANDSTECHNIK

Die von der Unterhaltungs-Elektronik an das Jahr 1973 gestellten Erwartungen haben sich voll erfüllt. Bis in den Anfang dieses Jahres hinein sind die Fertigungen auf unverändert hohen Touren gelaufen. Schwieriger dagegen ist die Entwicklung bei den übrigen Verbrauchern elektronischer Bauelemente zu kennzeichnen. Nachdem der Bedarf hier insbesondere bei der Investitionsgüter-Industrie lange Zeit überwiegend stagniert hatte, war zumindest teilweise eine Belebung im Verlaufe des Vorjahres erfolgt.

Gegen Ende 1973 trat jedoch urplötzlich ein Ereignis ein, das jedes Industrieland in vollem Ausmaß traf, alle Prognosen hinfällig werden ließ und sich bis heute unvermindert ausgewirkt hat:

die wirkliche – oder vermeintliche – Ölkrise.

In der Zwischenzeit ist sie in eine allgemeine Preiskrise umgeschlagen. Auf unserem Gebiet wirkt sie sich zunächst bei der Beschaffung der Grund- und Zubehör-Materialien aus. Die sozialpolitischen Folgen sind noch nicht abzusehen. Unabhängig hiervon war bereits eine Vielzahl von Maßnahmen politischer bzw. wirtschaftspolitischer Natur zum Teil eingeleitet, zum Teil zumindest weitgehend vorbereitet worden, die das gesamte wirtschaftliche Geschehen der Bundesrepublik in Zukunft tiefgreifend beeinflussen und das bisher gewahrte Prinzip der sozialen Marktwirtschaft überhaupt infrage stellen wird.

Das Ergebnis ist eine völlige Unsicherheit, die jede einigermaßen fundierte Aussage über den vermutlich weiteren Verlauf der Entwicklung auf unseren Gebieten, zumindest für die nächste Zeit, unmöglich macht. Die bei verschiedenen Firmen unserer Gruppe in der Zwischenzeit angelaufenen Erweiterungen können nicht von heute auf morgen angehalten werden. Dies schon aus dem Grund nicht, weil sie weniger einer einfachen Erweiterung der laufenden Fertigung, als vielmehr der Einführung von neuen Ausführungsformen dienen. Die technische Entwicklung darf auch durch die oben geschilderten Umstände keinerlei Unterbrechung erfahren. Die Unternehmen werden daher ihre Arbeiten in der weiteren Zukunft mit besonderem Nachdruck fortsetzen. Welche Folgerungen sich hieraus ergeben können, vermag zur Zeit noch nicht gesagt zu werden.

Paul Petrick

# Dauerverhalten von Kondensatoren

## Teil 2

Über das Verhalten von Papier-Kondensatoren mit Kunstharzimprägnierung in Abhängigkeit von Spannung und Temperatur wurde im ersten Teil dieser Serie berichtet (1). Sie waren bis vor nicht allzu langer Zeit die optimale nicht dichtverlötete Kondensator-Ausführung, vor allem wegen ihrer mechanischen Robustheit und klimatischen Beständigkeit. Nur das Verhalten bei höherer Temperatur war wegen Alterung nicht ganz zufriedenstellend.

Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit in Bezug auf Alterung, die als typische Eigenschaft von Papierdielektrikum angesehen werden kann, wurde vor allem bei Kondensatoren mit höherer Nennspannung ein Mischdielektrikum aus Papier und Kunststoffolie mit Kunstharzimprägnierung eingeführt.

Während reine Papier-Kondensator-Ausführungen außer bei Wechselspannungen weiter an Bedeutung verlieren, ist die Kombination Papier/Kunststoffolie noch ein gängiges Bauteil vor allem für professionelle Geräte.

Bevorzugt wird im allgemeinen ein höherer Papier-Anteil mit Polyester als Kunststoffolie und eine abwechselnde Schichtung von Papier-/Kunststoffolie. Papierlagen werden meist benachbart zur Belagfolie angeordnet, um bessere Durchimprägnierung zu gewährleisten. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, aufgrund der höheren Spannungsfestigkeit der Kunststoffolie, die Gesamtdielektrikumsstärke zu reduzieren und durch die geringe Wasseraufnahme eine höhere Feuchtebeständigkeit zu erzielen.

Die Kunststoffolie wirkt als Feuchtebarriere, solange keine groben Löcher in der Folie vorhanden sind.

## 1. Ausführung der Prüflinge

Die Versuche wurden mit Rundwickel-Kondensatoren mit je 3 Lagen Dielektrikum (2 x Papier, 1 x Polyester) durchgeführt.
Kontaktiert wurde durch Schweißen von Lamellen auf Metallbelagfolien und Anlöten von Anschlußdrähten. Als Imprägnierung und Verguß wurde heißhärtendes Epoxydharz verwendet.
Der Kapazitäts-Bereich erstreckte sich von 4700 pF bis 0,22 µF bei 630 V- und 1000 V- Nennspannung.

## 2. Versuchsdurchführung

Folgende Spannungen und Temperaturen wurden angewendet:

Erschienen in der Zeitschrift
Elektronik Praxis
Heft 11/73

| Temperatur | Spannung x $U_N$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 40°C | 1,0 | 1,6 | 2,5 | 3 | 4 |
| 75°C | 1,0 | 1,6 | 2,0 | 3 | 4 |
| 100°C | 0,6 | 1,6 | 2,0 | 2,5 | |
| 125°C | 0,6 | 1,0 | 1,6 | 2,5 | |
| 140°C | 0,6 | 1,0 | 1,6 | 2,5 | |

Zusätzlich wurden Prüfungen der laufenden Qualitätskontrolle bei 100°C/1,6 x $U_N$, 100°C/$U_N$ und 40°C/$U_N$ ausgewertet.

Die Zahl der geprüften Chargen (außer Routineprüfungen) betrug 88, die Gesamtstückzahl der Prüflinge ca. 5000. Je Prüfbedingung wurden mindestens 25, maximal 100 Stück verwendet.

Die Prüfeinrichtung entsprach der Beschreibung in (2). In wenigen Fällen konnte 100%iger Ausfall abgewartet werden. Beurteilt wurde wieder nur Totalausfall, da Änderungen von C, tan δ, $R_{is}$ für die Zuverlässigkeit ohne Einfluß waren.

## 3. Auswertung

Die Berechnungsgrundlage wurde im ersten Teil der Serie ausgeführt. Vergleichsweise wurden in jedem Fall β und α zeichnerisch bestimmt.

## 4. Kurvendiskussion

### 4.1 Ermittlung der Ausfallverteilung

Die Ausfallverteilung in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt, wie bereits bei reinem Papierdielektrikum, eine Zunahme von β (Tabelle 1) mit der Temperatur. Sie ist jedoch gegenüber Papier deutlich verzögert, β erreicht erst bei 100°C etwa 1, und der typische Alterungseffekt ist selbst bei 125°C noch als tragbar zu bezeichnen. Es muß erneut darauf hingewiesen werden, daß es sich um Mittelwerte handelt und daß teilweise deutliche Ausreißer auftraten. Vor allem bei geringer Stückzahl an Ausfällen können unzutreffende Werte ermittelt werden. Die Versuche zeigen ferner wieder, daß einzelne Posten mit kleiner Stückzahl zur Ermittlung des typischen Verhaltens nicht ausreichen und nur aus größeren Versuchsreihen gemittelte Werte für eine Beurteilung herangezogen werden können.

Abb. 1 zeigt die β-Werte der Tabelle in Kurvendarstellung. Die bei Papier-Kondensatoren ermittelte Grund-Formel wurde vergleichsweise angewandt und dabei folgende Beziehung ermittelt:

(Gleichung 1) $\log \beta = -2{,}743 + 0{,}0075\ T\ (°K)$

| Temperatur °C | β |
|---|---|
| 40 | 0,4 |
| 75 | 0,72 |
| 100 | 1,1 |
| 125 | 1,6 |
| 140 | 2,3 |

Tabelle 1

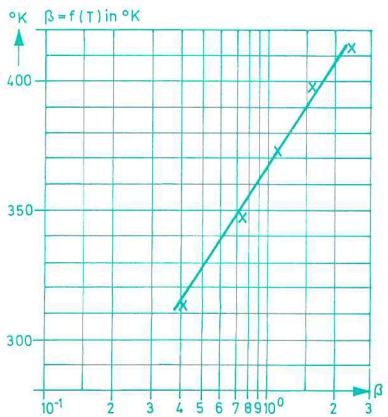



Abb. 1

——— log β = −2,743+0,0075 T (°K)
X Meßwerte

Auffallend ist, daß bei 40°C kein besonderer Unterschied der β-Werte zwischen Papier-Kondensatoren und Kondensatoren mit Mischdielektrikum feststellbar ist. Die Vorzüge der Kondensatoren mit Mischdielektrikum bezüglich Alterung beginnen bei ca. 75°C deutlich zu werden.

### 4.2 Ermittlung von α

Ein Vergleich der Absolutwerte mit Papier-Kondensatoren zeigt, daß log α eindeutig höher liegt. Auch bei 40°C ist die Zeit bis zu ca. 2/3 Ausfall einer Charge bei Mischdielektrikum länger als bei reinem Papierdielektrikum, obwohl die Feldstärke höher liegt.

Die ermittelte Beziehung für α lautet unter Ansatz der bei Papier-Kondensatoren verwendeten Formel:

$$\text{(Gl. 2)} \quad \log \alpha = 19{,}65 \cdot e^{-0{,}0106 \cdot T\,[^\circ C)} - 7{,}15 \cdot e^{-0{,}0162 \cdot T\,[^\circ C)} \cdot \left(\frac{U}{U_N}\right)^{\sqrt{\beta}}$$

Abb. 2 zeigt den aus der Formel errechneten Verlauf im Vergleich zu den in Versuchen festgestellten Punkten.

Die Angabe $\frac{U}{U_N}$ in dieser und der Ausarbeitung über reine Papier-Kondensatoren (Teil 1) bezieht sich auf die geprüfte Bauform. Bei den beiden jeweils untersuchten Nennspannungsreihen war die Feldstärke (aus Lagenzahl -1 ermittelt) etwa gleich, so daß ein Ersatz von $\frac{U}{U_N}$ durch die allgemein gültige Form E/K (K = Konstante,

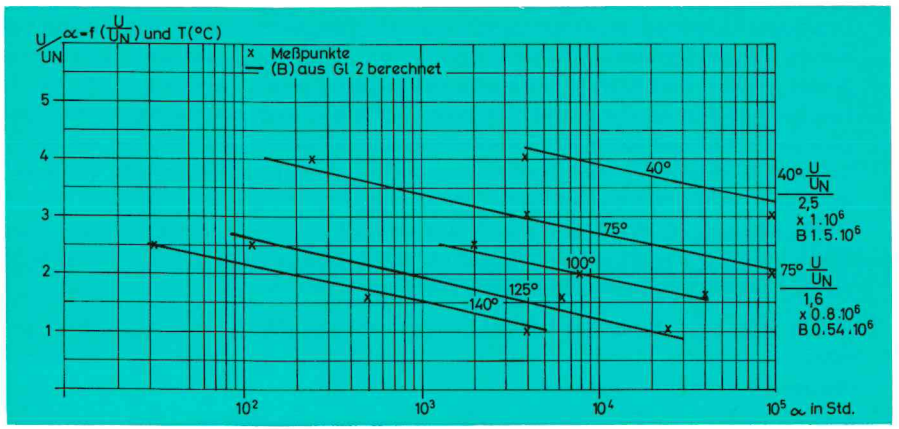



Abb. 2

E = Feldstärke) möglich wäre.
In Dauerversuchen wurden bei laufender Qualitätskontrolle folgende Ausfalprozentsätze ermittelt:

Tabelle 2

**Qualitätskontrolle**

| Temperatur °C | Spannung | Zeit (Std.) | Ausfall % | Ausfall % berechnet (Gl. 2) |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 1,6 x $U_N$ | 1.000 | 2 | 2,6 |
| 100 | $U_N$ | 1.000 | 0,4 | 0,5 |
| 40 | $U_N$ | 90.000 | 0,24 | 0,2 |

Bei 100°C/1,6 x $U_N$ lagen 6 Mill. Kd · h vor, bei 100°/$U_N$ 1,2 Mill. Kd · h und bei 40°C/$U_N$ 75 Mill. Kd · h.

Vergleichsweise ergaben die aus den systematischen Versuchen ausgewerteten Chargen mit für eine Weibull-Auswertung zu geringem Ausfallprozentsatz folgende Werte:

Tabelle 3

**Auszug aus systematischen Versuchen**

| Temperatur °C | Spannung | Zeit (Std.) | Ausfall % | Ausfall % berechnet |
|---|---|---|---|---|
| 75 | $U_N$ | 5.000 | 0 | — |
| 75 | 1,6 x $U_N$ | 5.000 | 2 | 1,9 |
| 100 | 0,6 x $U_N$ | 5.000 | 0 | — |
| 100 | $U_N$ | 3.000 | 1 | 1,5 |

Die bisher ermittelten Abhängigkeiten geben Anlaß zur Diskussion des gelegentlich praktizierten Verfahrens der Auslese von Kondensatoren zur Erzielung geringerer Ausfallraten. Da keiner der übrigen elektrischen Parameter mit dem Spannungsausfall in Beziehung gebracht werden konnte, wurde Spannungsüberlastung entweder bei niedriger Temperatur durch Erhöhung der Prüfspannung oder durch geringere Überlastung bei erhöhter Temperatur angewendet.

Bei Auftreten von Alterung ist jede Vorauswahl bei hoher Temperatur unzulässig, denn sie reduziert die Lebensdauer ohne eine Verminderung der Ausfallrate auch nur am Anfang der Belastungszeit zu gewährleisten. Gerade dieses Verfahren wurde jedoch häufig praktiziert. Wird im Betrieb bei geringerer Temperatur weiterbelastet, können die Kondensatoren aufgrund eines durch die Alterung erfolgten Schadens ein reines Ausreißerverhalten aufweisen.

In einem Bereich in dem β ca. 1 beträgt, ist einer Voralterung ebenfalls nur beschränkter Wirkungsgrad zuzuschreiben: Krasse Ausreißer werden aussortiert, die Verteilungskurve bleibt aber im wesentlichen unverändert. Die Lebensdauer wird ebenfalls verkürzt.
Eine Erhöhung der Prüfspannung allein sollte theoretisch in den Fällen, in denen keine Alterung eintritt, die Ausfallrate reduzieren und bei Alterung ohne Einfluß bleiben. Letzteres wurde in Versuchen nachgewiesen. Wegen der langen Prüfzeiten konnte der Beweis für die Beeinflussung der Ausfallrate bei niedrigen Temperaturen nicht erbracht werden.

## 5. Allgemeine Kurvendiskussion

Wie bereits erwähnt, erfolgte die Berechnung von α und β aufgrund der Ausfallverteilung nicht mit gleichem Gewicht jedes Ausfalls, sondern mit zunehmendem bis zu ca. 65% und anschließend abnehmendem Gewicht. Den Einfluß von Ausfällen, die von einer berechneten Normkurve abweichen, zeigt Tabelle 4 und Abb. 3. Kurven 1 bis 3 sind theoretisch für $\beta = 1$ ausgelegt. Der Einfluß auf β und α ist, wie Tabelle 4 zeigt, bei Ausfall nur eines kleinen Prozentsatzes unter Beibehaltung der errechneten Kurvenwerte gering. Eine Abweichung im Anfang der Verteilung

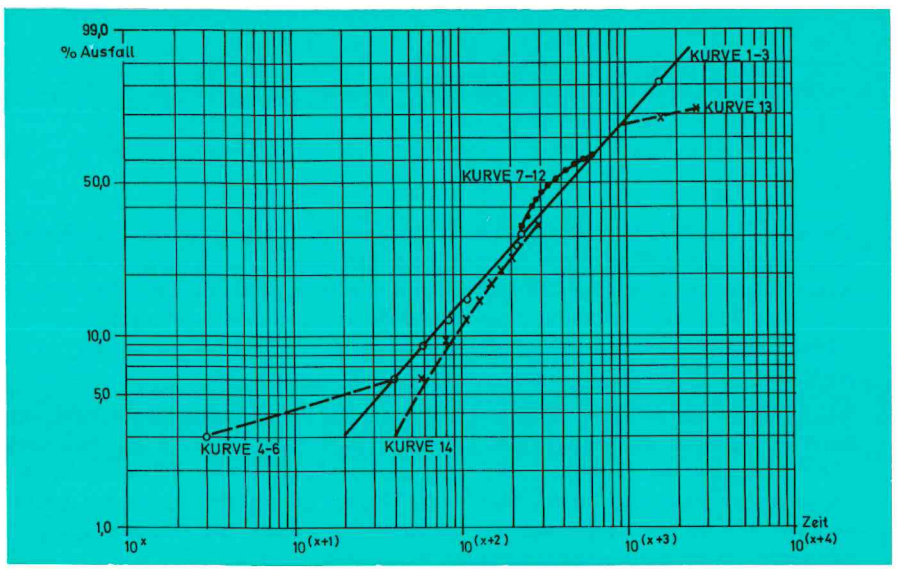



Abb. 3

bewirkt eine je nach Länge der Kurve leichte bis deutliche Änderung beider Werte. Dasselbe gilt für Abwanderung der Werte am Ende der Verteilung. Erwartungsgemäß ändern Ausfälle im Bereich von ca. 30 bis 80% $\alpha$ und $\beta$ am stärksten, vor allem bei Abbrechen der Kurve im Bereich der Abweichung. Alle Möglichkeiten wurden nicht durchgespielt. Trotzdem fällt bei den errechneten Werten die weite Streuung der $\beta$-Werte auf, wogegen bei zeichnerischer Auswertung noch keine gravierenden Verkrümmungen der Kurve feststellbar sind. Der $\beta$-Bereich erstreckt sich von 0,73 bis 1,2. Bei log $\alpha$ ist die Änderung von 1,65 bis 2,02 gleich ca. 45

Tabelle 4

| 32 Prüflinge | Ausfälle | Auswertung mit Gewicht | | Auswertung ohne Gewicht | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\beta$ | log $\alpha$ | $\beta$ | log $\alpha$ |
| | Nr. 1 10 20 30 | | | | |
| Kurve 1 | 2 Std. 24 63 160 Std. | 0,99 | 1,8 | 1,04 | 1,82 |
| Kurve 2 | wie 1 nur bis zum 12. Ausfall | 0,98 | 1,81 | 1,09 | 1,78 |
| Kurve 3 | wie 1 nur bis zum 4. Ausfall | 0,97 | 18,2 | 1,2 | 1,68 |
| Kurve 4 | Nr. 1 0,3 Std. sonst wie 1 bis zum 7. Ausfall | 0,73 | 2,02 | 0,58 | 2,46 |
| Kurve 5 | Nr. 1 0,3 Std. sonst wie 1 bis zum 12. Ausfall | 0,89 | 1,85 | 0,69 | 2,13 |
| Kurve 6 | Nr. 1 0,3 Std. sonst wie 1 bis zum 20. Ausfall | 0,95 | 1,82 | 0,78 | 1,94 |
| Kurve 7 | wie 1 bis Nr. 8<br>Nr. 9 22 Std. | 0,96 | 1,84 | 1,1 | 1,76 |
| Kurve 8 | wie 1 bis Nr. 8<br>Nr. 9/22, 10/23, 11/24, 12/26 Std. | 1,07 | 1,73 | 1,12 | 1,75 |
| Kurve 9 | wie 8 aber 13/28, 14/29, 15/30 Std. | 1,2 | 1,65 | 1,16 | 1,72 |
| Kurve 10 | wie 9 aber 16/33, 17/38, 18/43, 19/49, 20/60, 21/68 Std. | 1,0 | 1,79 | — | — |
| Kurve 11 | wie 10, zusätzlich bis Nr. 24 wie 1 | 0,94 | 1,79 | — | — |
| Kurve 12 | wie 11, zusätzlich bis Nr. 30 wie 1 | 0,92 | 1,78 | 1,05 | 1,79 |
| Kurve 13 | wie 1 aber Nr. 26/160, 27/260 (Ende) | 0,81 | 1,96 | 0,96 | 1,86 |
| Kurve 14 | wie 1 aber 2. Ausfall = 1. Ausfall gesetzt | 1,13 | 1,81 | 1,37 | 1,72 |

bis 100 ebenfalls erheblich, wegen der bekannten größeren Unsicherheit im Ausfallprozentsatz (US-Vorschriften stufen z. B. nur nach Zehnerpotenzen im Ausfall) ist diese Änderung nicht als gleich schwerwiegend anzusehen. Außerdem bewirkt die $\beta$-Änderung erst die Verschiebung von $\alpha$. Wird die Auswertung ohne Gewichtung vorgenommen, streuen die $\beta$-Werte in noch weiterem Bereich (0,58 bis 1,37) und entsprechend wird log von 1,68 bis 2,46 ebenfalls unsicherer.

Für die Auswertung von Versuchsreihen folgt aus dem Modellversuch, daß möglichst viele Chargen bei einer Prüfbedingung zur Verfügung stehen sollten, um die durch unvermeidliche Streuungen hervorgerufene Unsicherheit bei der $\beta$-Berechnung auf ein Minimum zu beschränken. Ferner sollten möglichst viele Ausfälle abgewartet werden, was vor allem bei niedriger Belastung sehr lange Prüfzeiten erfordert.

**Literaturhinweise:**

1. P. Petrick - Elektronik Praxis, Heft Nr. 11, November 1972
2. H. Heinatz - Kondensatoren und Widerstandstechnik - Firmenschrift Ernst Roederstein Nr. 10/64.

Schütz/Erber

**Baugruppen:**

**Tendenzen der Entwicklung:**

Die Entwicklung der letzten Jahre, vorwiegend die Integration durch monolithische IC's haben die Gerätekonzepte wesentlich verändert. Der Einfluß der Integration ist in vielen Bereichen der Unterhaltungselektronik zu finden, speziell in Fernsehgeräten. Ausschlaggebend für diesen Trend waren neben dem Wunsch nach technisch vereinfachten Schaltungskonzepten auch ökonomische Überlegungen. Durch den relativ geringen Aufwand an peripherer Beschaltung der IC's wurde ein weiterer Schritt in Richtung einzelner Funktionsgruppen möglich. Dadurch kam man dem Ziel näher, die Produktion von Fernsehgeräten zu rationalisieren und die Service- Freundlichkeit zu verbessern.

Überall dort, wo eine monolithische Integration schaltungstechnisch nicht möglich ist, werden durch Module in diskreter Bauweise Funktionseinheiten geschaffen, die der angestrebten Entwicklung gerecht werden.

Die nachfolgende Abhandlung soll die schon jetzt realisierten Entwicklungen vorstellen und weitere Möglichkeiten aufzeigen.

## 1. Kaskade:

Die bei Farbfernsehgeräten notwendige Hochspannung von 25 kV wurde bei der ersten Gerätegeneration durch Gleichrichtung der Rückschlagsspannung, die in der Hochspannungswicklung auf 25 $kV_{SS}$ transformiert wurde, erzeugt.

Als Gleichrichter diente eine Hochspannungs-Gleichrichter-Röhre, die unmittelbar über dem Hochspannungswickel angeordnet wurde. War vom Konzept her noch eine Ballast-Triode vorgesehen, so entwickelte sich hieraus zwangsläufig eine extreme Turmbauweise.

Erst durch die Einführung der Selen-Hochspannungskaskade für die Farbgeräte der zweiten Generation konnte ein wirtschaftliches und äußerst zuverlässiges Konzept zur Hochspannungserzeugung erzielt werden.

Als Parallelentwicklung entstand schließlich die Silizium-Hochspannungskaskade, die für bestimmte Einsatzbereiche spezielle Vorzüge bietet. Als besondere Charakteristika sind der kleine dynamische Innenwiderstand, die niedrige Eingangskapazität und das bessere Temperaturverhalten zu erwähnen. Hinzu kommt der Vorteil, daß die Si-Kaskade wesentlich kleiner ist.

Erschienen in der Zeitschrift
Radio Mentor Electronic

Abb. 1
zeigt die Selen-Kaskade und die in der Bauform wesentlich kompaktere Silizium-Hochspannungskaskade.

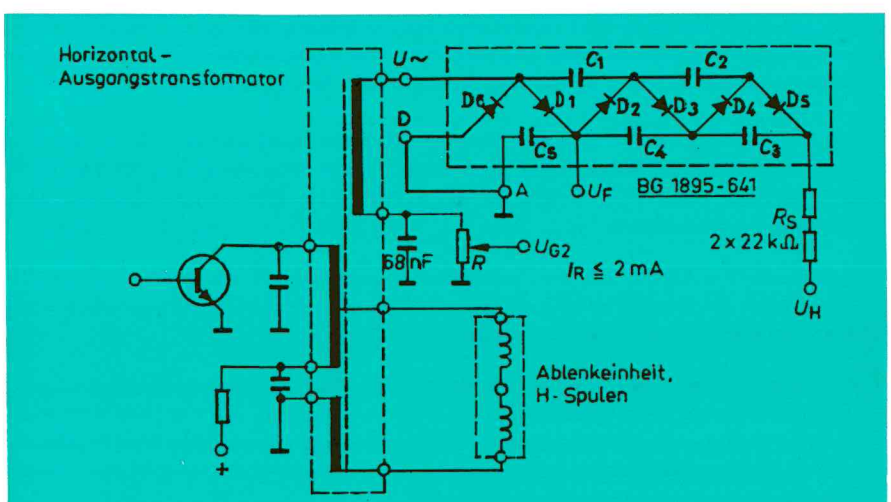



Abb. 2
zeigt die Prinzipschaltung einer Transistor-Zeilenendstufe mit einer Spannungs-Verdreifacher-Schaltung.

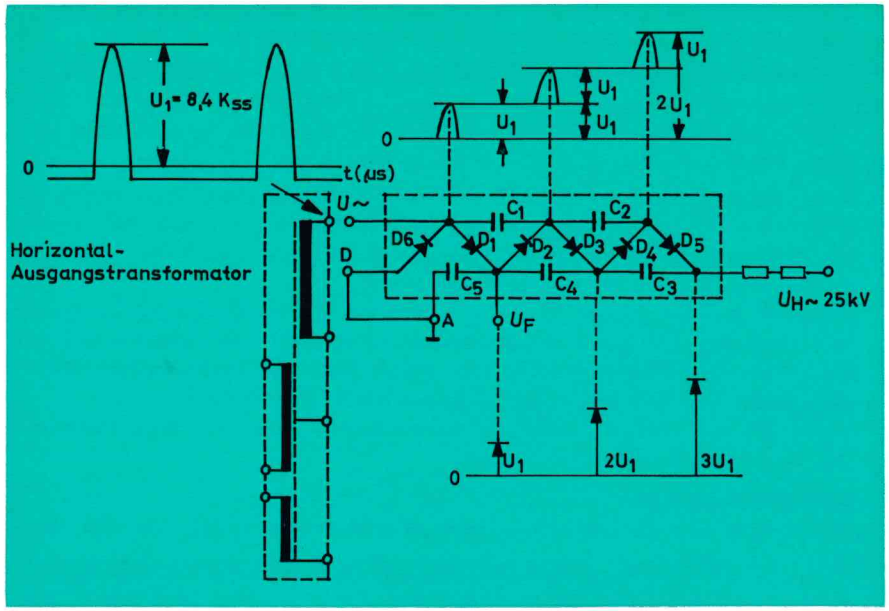



Abb. 3

Der Zeilentrafo, bei dem die getrennte Hochspannungsspule fehlt, stellt der Kaskade während der horizontalen Rücklaufphase eine Impulsspannung von ca. 8,4 $kV_{SS}$ zur Verfügung.

Diese Impulsspannung wird mit der Kaskade auf eine Hochspannung von

$$U_H = 3\ U_1 \sim 25\ kV$$

gebracht.

Abb. 3 veranschaulicht das Prinzip der Spannungs-Verdreifachung.

$C_1$, $C_2$ sind dabei als Wechselspannungs- oder Schub-Kondensatoren, $C_3$, $C_4$ und $C_5$ als Lade-Kondensatoren zu bezeichnen. Zum Einsatz kommen Spezial-Kondensatoren, aufgebaut in Serienschaltung für 12 kV Spitzenspannung. Dazwischen liegen, je nach Kaskaden-Typ, Selen-Gleichrichter bzw. Silizium-Dioden.

Bei einem Vergleich der aktiven Bauelemente zeigen die Silizium-Dioden bei er-

höhten Temperaturbedingungen günstigere Werte bezüglich Spannungsfestigkeit und einen geringeren Spannungsabfall in Durchlaßrichtung.

Um die Kaskade vor Überschlägen und den daraus entstehenden Folgeschäden zu schützen, werden hochspannungsfeste Massewiderstände von zusammen 44 kΩ in die Anodenkappe eingebaut. Auf den Innenwiderstand der Kaskade üben diese Anodenkappenwiderstände praktisch keinen Einfluß aus.

Diese Gesamtanordnung der Verdreifacherschaltung mit einer Endspannung von 25 kV kann zur Zeit als optimale Lösung angesehen werden, wenn man berücksichtigt, daß diese Schaltung, wie aus Abb. 2 hervorgeht, auch die Fokus- und Schirmgitterspannung für die Bildröhre liefert.

Sämtliche Bauteile werden in einem Kunststoffgehäuse mit speziellem Epoxydharz vergossen. Die besondere Zusammensetzung der Vergußmasse ergibt eine äußerst günstige Wärmedurchgangszahl. Ferner verhindert das Epoxydharz Glimmentladungen zwischen den einzelnen Bauelementen der Kaskaden.

Gegenüber den früheren Hochspannungskonzepten verspricht diese Baugruppe eine wesentlich längere Lebensdauer.

## Speicherbaustein

Abb. 4 zeigt das Blockschaltbild eines Ultraschall-Empfängers. Die vom Geber

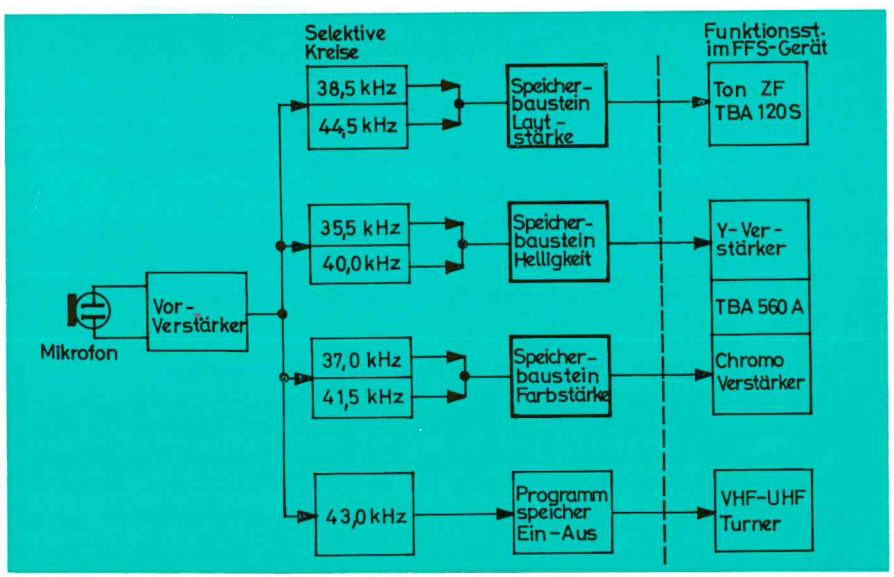



Abb. 4
Blockschaltbild eines Ultraschall-Empfängers.

abgestrahlten Frequenzen werden vom Empfängermikrophon aufgenommen. Nach ausreichender Verstärkung in einem Vorverstärker gelangen die Signale über die als LC-Filter ausgeführten Selektiv-Demodulationskreise an den nachfolgenden Speicherbaustein. Wie man aus dem Blockschaltbild entnehmen kann, werden drei Speicherbausteine pro Ultraschallempfänger benötigt, um Lautstärke, Helligkeit und Farbkontrast kontinuierlich regeln zu können. Dem Speicherbaustein fällt dabei eine wichtige Aufgabe zu:

— die eingegebene Information möglichst lange zu erhalten, z. B. die einmal eingestellte Lautstärke über längere Zeit zu garantieren.

— aber auch die gespeicherte Information rückwirkungsfrei an die zu regelnden Stufen weiterzugeben, und zwar an den Y-Verstärker für die Helligkeit, an den Ton-ZF-Verstärker für die Lautstärke und an den Chroma-Verstärker für den Farbkontrast.

Alle Funktionen werden drahtlos, also ohne Zwischenkabel vom Geber zum Empfänger, mit Ultraschallwellen im Frequenzbereich von 35 bis 45 kHz, aufgeteilt in einzelne Kanäle mit einem Frequenzabstand von 1,5 kHz, übertragen.

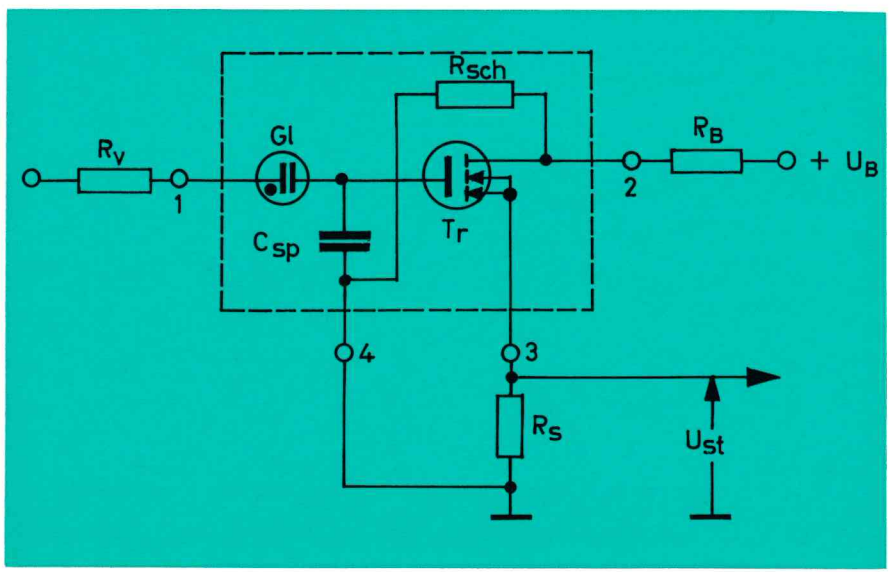



Abb. 5
zeigt die Schaltung des Speicherbausteins.

Steigt im Betrieb die Spannung am Eingang des Speicherbausteins, Anschluß 1, über die Zündspannung von ca. 75 V an, zündet die Glimmlampe durch, wird also niederohmig, so daß im weiteren Verlauf über den Vorwiderstand $R_V$, der die Zeitkonstante bestimmt, der Speicherkondensator $C_{sp}$ aufgeladen bzw. entladen wird. Um die gespeicherte Ladung über so lange Zeit zu erhalten, wird ein MOS-Feldeffekttransistor mit sehr hohem Eingangswiderstand nachgeschaltet, der die Kondensatorladung praktisch nicht belastet, jedoch die Source-Drain-Strecke je nach Aufladung des Kondensators annähernd leistungslos durchsteuert. Am Ausgang 3 entsteht dabei eine Regelspannung, die vom jeweiligen Ladezustand des Kondensators $C_{sp}$ abhängig ist und zwischen 0 und ca. 20 V liegen kann. Diese Regelspannung wird dann der entsprechenden Funktionsstufe zugeführt, wie aus Abb. 4 zu entnehmen ist.

Da Feldeffekttransistoren sehr empfindlich auf statische Spannungen reagieren (bei Eingangswiderständen von $10^{14}$ Ω reichen bereits pA für die Zerstörung aus), wird ein Schutzwiderstand $R_{sch}$ in der Größenordnung von ca. 1 MΩ erforderlich, um statische Überspannungen im nichtmontierten Zustand abzubauen.

Um die ausgezeichnete Langzeitkonstanz dieser Schaltung zu erhalten, wurde sie, wie Abb. 6 zeigt, in einen dichten Kunststoffbecher eingebaut und in eine hochisolierende Kunstharzmasse eingegossen.

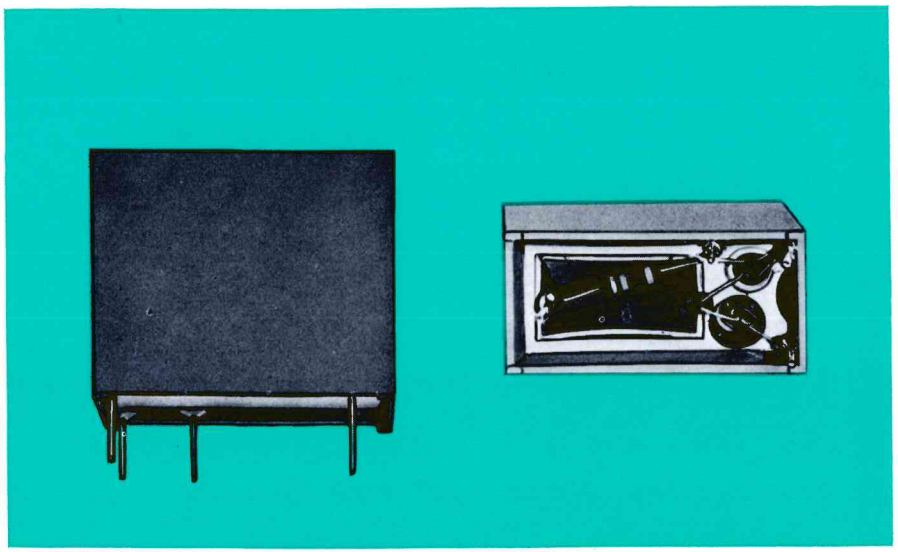


Abb. 6

Dieser Baustein eignet sich auch für andere Einsatzgebiete, z. B. als Verzögerungsglied in Heizungsreglern, sowie als Autospeicher für den vollelektronischen Sendersuchlauf in beiden Richtungen schaltbar.

**Technische Daten des Speicherbausteins BG 1883/2:**

| | |
|---|---|
| Betriebstemperaturbereich: | $0 < T < T + 60°$ C |
| Lagertemperaturbereich: | $-20 < T + 100°$ C |
| Elektrische Daten: | |
| Betriebsspannung: | $U_{DSmax} = 25$ V— |
| Betriebsstrom: | $J_{Dmax} = 30$ mA— |
| Kondensator: | $C_{max} = 1{,}5\ \mu F \pm 10\ \%$ |
| Glimmlampe: | |
| Zündspannungsbereich: | 73 V— $< U_Z <$ 80 V— |
| Betriebsstrom: | 0,8 mA max. |
| Langzeitkonstante: | Meßbeginn 4 h nach Ladung bei 25° C Umgebungstemperatur $- \geq 0{,}5 \cdot 10^7$ sec. (Bestimmung durch Spannungsabsenkung). |

Wie bereits einleitend erwähnt, sind neben bekannten Baugruppen weitere Bausteine in der Entwicklung um bestehende Modul-Konzepte durch diskret aufgebaute Funktionseinheiten zu ergänzen.

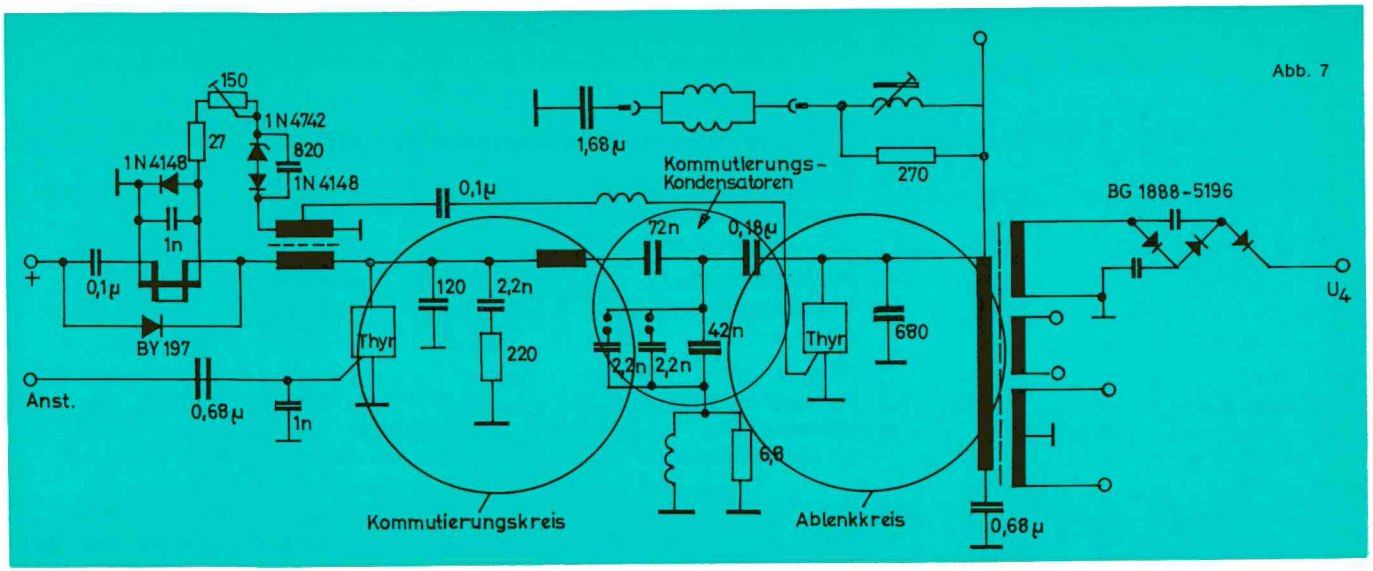
Nachfolgend werden zwei weitere Module aus den gegebenen Möglichkeiten beschrieben.

Es handelt sich hierbei um ein Kommutierungsmodul und zwei Netzteilbausteine.

## 2. Baustein für Thyristor Horizontalendstufe — Kommutierungsmodul

Bekanntlich besitzt die Thyristorablenkschaltung zwei Resonanzkreise, den sogenannten Kommutierungskreis oder Zeilenrücklaufkreis und den Ablenkkreis oder Zeilenhinlaufkreis, Abb. 7. Beide Resonanzkreise werden mit je einem bipolaren Schalter bestehend aus Diode und Thyristor, zu einem festgelegten Zeitpunkt ein- und ausgeschaltet.

Außerdem wird die zur Funktion der Zeilenendstufe notwendige Leistung zugeführt. Die Energie pendelt dabei zwischen Induktivität und Kapazität in der für Hin- und Rücklauf festgelegten Resonanzfrequenz.




Die Kondensatoren $C_1$, $C_2$ und $C_3$, allgemein als Kommutierungs-Kondensatoren bekannt, stellen die Verbindung zwischen Kommutierungs- und Ablenkkreis her.

Sie sind mitbestimmend für das Resonanzverhalten der beiden Kreise und legen weiter die Schaltzeiten für die Thyristoren fest. Andererseits bilden diese Kondensatoren einen Energiespeicher, der seine Leistung zum großen Teil über den Hinlaufkreis an den Zeilentrafo abgibt.

Sie unterliegen sehr hohen Strom- und Spannungsbelastungen, Abb. 8, z. B. $C_1$ = 11 $A_{SS}$. Ein Einsatzfall, der höchste Anforderungen an diese Kondensatoren stellt.

Zur Anwendung kommen demzufolge nur impulsfeste Polypropylen-Kondensatoren mit hoher Flankensteilheit bis 750 V/µsec und niedrigem Verlustfaktor von ca. 0,5 x $10^{-3}$ bei Zeilenfrequenz. Durch die Weiterentwicklung des Thyristorablenkkonzeptes konnten vor allem induktive Bauelemente reduziert und vereinfacht werden. Allerdings wurde dadurch der Einsatz von zwei Abgleichkondensatoren $C_4$, $C_5$ notwendig (siehe Abb. 8). Diese parallel liegenden Kondensatoren können bei Nichterreichen der gewünschten Bildbreite der Hauptkapazität $C_3$ zugeschaltet werden.

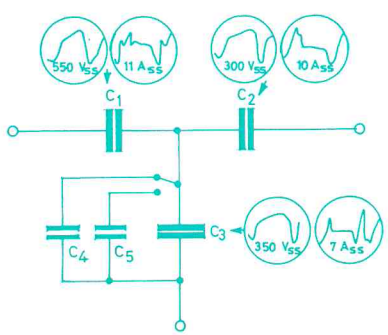



Abb. 8
Ausschnitt aus Blockschaltbild
(Kommutierungs-Kondensatoren)

Um an dieser Stelle dem Wunsch einer rationellen Lösung zu entsprechen, also die Gesamtschaltung an diesem Punkt zu vereinfachen, wurde das Kommutierungsmodul mit Bildbreitenabgleich geschaffen. Die in Abb. 9 gezeigten Bausteine enthalten die im Schaltbild dargestellten Kondensatoren bzw. werden der jeweiligen Schaltungsauslegung kapazitätsmäßig angepaßt.

Temperaturmessungen in Schwarz-Weiß- und Farbfernsehgeräten zeigten, daß die Funktionseinheiten trotz hoher Belastung nur eine geringe Eigenerwärmung aufweisen. Dadurch sind sie für den Einsatz in Thyristor-Zeilenendstufen geeignet.

**Schlußbetrachtung:**

Diese kurze Übersicht zeigt einen Teil der Möglichkeiten, Baugruppen oder Module zu schaffen, die diskret aufgebaut sind und sinnvoll die bestehenden Modul-Konzepte ergänzen.

Um bestmögliche Lösungen zu erzielen, ist jedoch eine enge Zusammenarbeit zwischen Geräteentwicklern und Bauelemente-Herstellern wichtig.

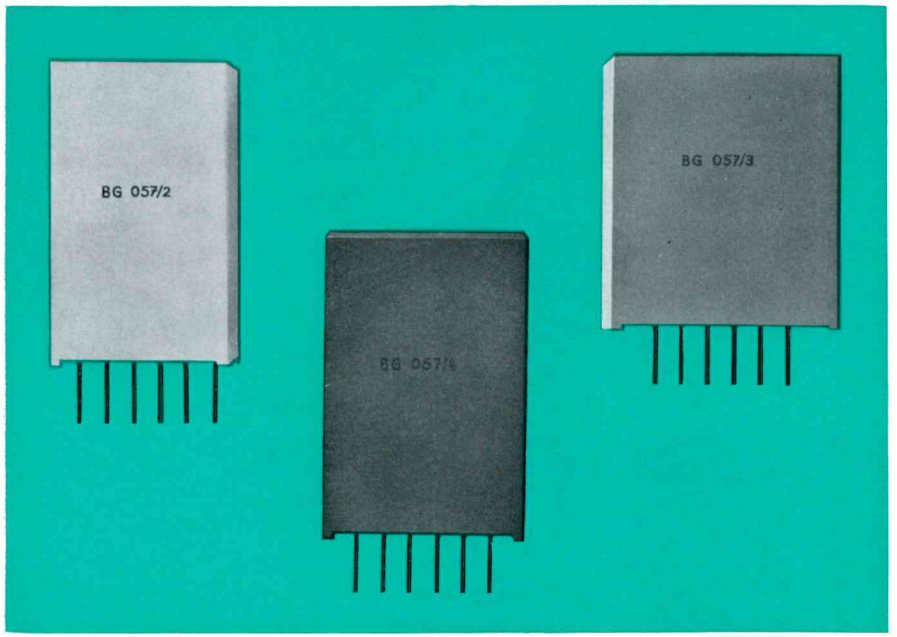



Abb. 9

B·G 1983/2
D8

Hans Klinkenberg

# Eigenschaften und Klassifizierung moderner Wickelkondensatoren

In der Praxis tritt im Bereich der professionellen und semiprofessionellen Elektronik immer wieder die Frage nach der technisch optimalen Wahl der für die jeweilige Schaltung erforderlichen Wickelkondensatoren auf. Die Vielfalt der am Markt angebotenen, in ihren Charakteristika recht unterschiedlichen Dielektrika, der breite Fächer an Bauformen und Umhüllungstechnologien sowie der steigende Bedarf an Kondensatoren für Sonderanwendungen (Impulsbetrieb) führen zweifellos zu einer Verringerung der Markttransparenz.

Mag auch die Fülle der in Katalogen und Datenblättern aufgelisteten Informationen kaum noch Wünsche offen lassen, der mühseligen Aufgabe einer anwendungsorientierten, vergleichenden Übersicht wird sich der Anwender häufig mangels entsprechender Unterlagen selbst unterziehen müssen.

Es soll daher im folgenden versucht werden, einige wichtige Merkmale von Wickelkondensatoren herauszustellen und nach Zuordnung zu bestimmten Auswahlkriterien durch Klassifizierung Einsatzschwerpunkte aufzuzeigen.

## 1. Bauformen und Umhüllungsarten

Die klassische, technologisch natürlichste Bauform, ein zylindrischer Körper mit axial herausgeführten Anschlußdrähten, verlor nach Einführung der bedruckten Leiterplatte in Europa erheblich an Bedeutung. An seine Stelle trat ein flachgepreßter Wickel, dessen radiale Anschlußdrahtführung kurze Drahtlänge und minimale Grundflächenbelegung ermöglicht. Die Steckkartentechnik (19"-Gehäuse, Europa-Format), die bei optimaler Volumenausnutzung eine Bauteilhöhe von 13 . . . 15 mm zuläßt, führt dagegen zwangsläufig wieder zum stärkeren Einsatz rund-axialer Ausführungen bei größeren Kapazitätswerten. Darüber hinaus ermöglicht die Gurtung dieser Bauform eine Verpackung, die den Erfordernissen der Beschickung von Bestückungsautomaten gerecht wird.

Bekanntlich hat die Umhüllung vier Aufgaben zu erfüllen:

a) Isolation
b) Erhöhung der mechanischen Festigkeit des Wickels
c) Feuchteschutz
d) flammhemmende Wirkung.

Sind auch Kunststoffdielektrika im Gegensatz zu Papier nicht hygroskopisch, so kann doch das Eindringen von Feuchtigkeit (∅ eines Wasserdampfmoleküls ca. $3 \times 10^{-4}$ µm) durch zusätzliche Abdichtung der Stirnseiten des Wickels verhindert werden. Dies ist bei wachsenden Anforderungen an die Konstanz der elektrischen Werte bei wechselnden Umwelteinflüssen umso wichtiger, als in den Wickel ein-

◀ Analogspeicher für Ultraschall-Fernbedienung von Farbfernsehgeräten.

Erschienen in der Zeitschrift Elektronik Journal

gedrungene Feuchtigkeit die Kapazität erhöht und zur Verschlechterung von Isolationswiderstand, Spannungsfestigkeit und Verlustfaktor beitragen kann. Im Zusammenwirken mit Temperatureinflüssen ist eine Verringerung der Lebensdauer nachweisbar. Schließlich können die aufgedampften Beläge metallisierter Kondensatoren unter dem Einfluß eines elektrischen Gleichfeldes bei vorhandener Feuchtigkeit (gelöste Salze) durch Ionenleitung abgetragen werden.

Für Geräte, die in weitgehend trockenen Räumen betrieben werden, kann die Anwendungsklasse G (DIN 400 40) als ausreichend angesehen werden. Entsprechend ausgelegte Kondensatoren sind mit einem Kunststoffetikett umhüllt; die Stirnseiten werden verschweißt bzw. die überstehenden Folien durch thermische Einwirkung zu einer geschlossenen Schicht verschmolzen ('Monoblock'-Kondensatoren). Günstigere Ergebnisse werden durch stirnseitigen Gießharzverguß erzielt, jedoch halten auch andere Spezialbehandlungen verschärften Feuchteprüfungen stand. Für höhere Ansprüche (F) ist meist Gießharztauchung bzw. Kunststoffumpressung erforderlich. Kunststoffbecher und -rohre mit Gießharzverguß halten Klasse D ein. Durch Änderung der chemischen Zusammensetzung des Basismaterials ist eine flammhemmende Wirkung zu erzielen. Einen Überblick vermittelt Tab. I.

**Umhüllungscharakteristika**

Tabelle I

| Feuchteklasse nach DIN | ... Tage 95% rel. Feuchte nach IEC | Umhüllung | Verguß | flammhemmend | Typ |
|---|---|---|---|---|---|
| G | 4 | Etikett | Monoblock | — | KT 1801, 1803, 1806, 1807 |
| | | | | | MKT 1820/21, KC 1848/49, KP 1834 |
| G | 21 | Etikett | Gießharz | — | MKT 1813, MKC 1860 |
| F | 21 | Etikett | GH, getaucht | — | KT 1800 |
| F | 21 | Etikett | Gießharz | ja | KP 1832, MKC 1863 |
| F | 21 | Rohr/Becher | Gießharz | bedingt | P 1877/78 |
| F | 56 | Etikett | Gießharz | — | KC 1853 |
| D | 56 | Etikett | Gießharz | — | KT 1811 |
| D | 56 | Rohr | Gießharz | ja | MKT 1814, KP 1831, MKC 1858, MKC 1864 |
| D | 56 | Becher | Gießharz | ja | MKT 1822/25, KP 1833, KC 1855, |
| | | | | | MKC 1859, MKC 1862/65 |
| C | 56 | Metallbecher | — | ja | MKT 1828, MKC 1868 |
| C | 56 | Metallrohr | — | ja | MKT 1829, MKC 1858 sp, MKC 1869 |

## 2. Kontaktierung

Die bei Film/Folie-Kondensatoren häufig angewandte kontaktsichere ('k') Verbindung zwischen Anschlußdraht und Belag ist neben der kostengünstigen technologischen Realisierbarkeit vor allem durch konstante Kontaktübergangswiderstände gekennzeichnet, die eine störungsfreie Übertragung von Wechselspannungen $<1$mV gestatten. Neben direkter Schweißung des Drahtes auf die Alufolie ist bei Rundwickeln der Einsatz einer punktgeschweißten Kontaktlamelle üblich, auf die der Anschlußdraht aufgelötet wird.

Die dämpfungsarme ('d') Verbindung sieht die Kontaktierung sämtlicher Belagwindungen mit dem Anschluß vor. Sie ermöglicht eine Verringerung des Serienwiderstandes bei höheren Frequenzen, was bei Spezialanwendungen von Bedeutung sein kann. Bei metallisierten Kondensatoren ist eine Kontaktierung durch Schoopierung der Stirnflächen möglich.

Unter Berücksichtigung des Wärmewiderstandes metallisierter Filme erreicht die zulässige Stromdichte im allgemeinen nicht die Werte, die bei Film/Folie-Typen angesetzt werden können.

## 3. Verlustfaktor

Der Verlustfaktor $\tan\delta$, der in seiner allgemeinen Form als Verhältnis von $P_{wirk}/P_{blind}$ definiert wird, setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, die ihrerseits in unterschiedlichem Maß frequenzabhängig sind.

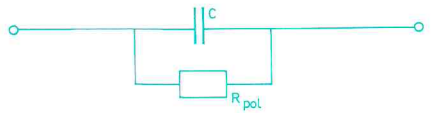
a) Polarisationsverluste ($\tan\delta_\varepsilon$)

Polyester, Polycarbonat, Papier gehören zu den "polaren" Isolierstoffen. Die Schwerpunkte der positiven und negativen Ladungen ihrer Molekülgruppen fallen nicht zusammen; sie bilden permanente Dipole. Unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes werden die Dipole aus ihrer regellosen Ursprungslage entgegen der thermischen Molekularbewegung durch Drehung in Feldrichtung orientiert. Daraus folgt:

- die Dielektrizitätskonstante des feldfreien Isolierstoffs erfährt durch die Polarisation einen Zuwachs $\Delta\varepsilon$.
- die Ausrichtung der Dipole erfolgt nicht trägheitslos.

Mit wachsender Frequenz nehmen die in Wärme umgesetzten Reibungsverluste im molekularen Bereich zu. Dies läßt bereits auf die Existenz eines Verlustfaktoranteils $\tan\delta_\varepsilon$ schließen, der ausschließlich auf die Polarisationsverluste

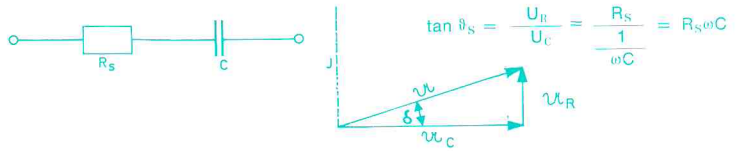
zurückzuführen ist, die gewöhnlich in Form eines Widerstandes parallel zur idealen Kapazität dargestellt werden:




$$// = j\omega C + \frac{1}{R_{pol}} = j\omega C + \omega C \tan \vartheta_\varepsilon$$
$$= j\omega C \,(1 - \tan \vartheta_\varepsilon)$$

b) Serienverluste (tan $\delta_S$)

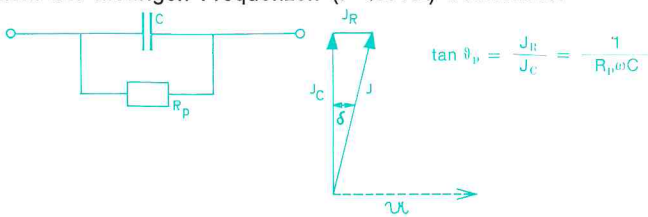
Bekanntlich setzt sich der Serienwiderstand aus den ohm'schen Widerständen der Zuleitungen, der Kontaktierungen und der Beläge zusammen. Im oberen Frequenzbereich tritt eine merkliche Erhöhung des Serienwiderstandes aufgrund des Skin-Effektes auf. Der 'Serienverlustfaktor' ergibt sich aufgrund des Reihenersatzbildes zu:




$$\tan \vartheta_S = \frac{U_R}{U_C} = \frac{R_S}{\frac{1}{\omega C}} = R_S \omega C$$

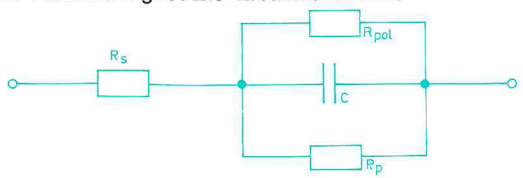
c) Parallel-Verluste (tan $\delta_p$)

Die Parallel-Verluste, hervorgerufen durch den Isolationswiderstand des Dielektrikums, nehmen mit wachsender Frequenz ab. Ihr Einfluß macht sich vor allem bei niedrigen Frequenzen (f $<$50 Hz) bemerkbar:




$$\tan \vartheta_p = \frac{J_R}{J_C} = \frac{1}{R_p \omega C}$$

Für den technischen Kondensator gilt daher bei gegen die erste Serienresonanz kleinen Frequenzen (Eliminierung der Induktivität der Zuleitungen und Beläge) das zusammengesetzte Ersatzschaltbild:



Mit Hilfe des von dieser Anordnung abgeleiteten Scheinwiderstandes

$$\underline{Z} = \frac{1}{\frac{1}{Rp} + j\omega C\ (1\text{-}j\tan\vartheta_\varepsilon)} + R_S = \frac{1}{j\omega\, C\ (1\text{-}j\tan\delta_\varepsilon\text{-}j\tan\delta_\rho)} + R_S =$$

$$R_S + \frac{1}{j\omega\, C}\ \frac{1+j\ (\tan\delta_\varepsilon + \tan\delta_\rho)}{1+\ (\tan\delta_\varepsilon + \tan\delta_\rho)}$$

läßt sich nach einigen Umformungen nachweisen, daß sich der Verlustfaktor additiv aus den 3 genannten Bestandteilen zusammensetzt:

$$\tan\delta = \tan\delta_\varepsilon + \tan\delta_S + \tan\delta_\rho$$

Abhängig vom Kapazitätswert macht sich der Einfluß von tan $\delta_S$ bei mittleren bis höheren Frequenzen, derjenige von tan $\delta_\rho$ bei tiefen Frequenzen ($f < 50$ Hz) bemerkbar. Der Verlustwinkel $\delta_\varepsilon$ läßt sich im gesamten Frequenzbereich nachweisen.

## 4. Betrieb bei Wechselspannung

Während der Betrieb mit Gleichspannung bzw. mit geringer Wechselspannungsüberlagerung bei Einhaltung des temperaturabhängigen Deratings im allgemeinen als unkritisch anzusehen ist, ist es im Falle sinusförmiger Wechselspannung wesentlich, den geeigneten Kondensator auszuwählen. Von Funkentstörmitteln abgesehen, treten Anwendungen wie Wechselstromwiderstand, Phasenschieber für Kleinmotoren, Filter und Verblockungsglieder, Koppelelemente, Spannungsteiler etc. auf.

Bei niedrigen Frequenzen ($f < 1$ kHz) wird die zulässige Wechselspannung durch das Dielekrikum (Verluste), das Imprägniermittel, die Dicke des Isolierstoffes und die Ionisations-Einsatzspannung (Glimm-Einsatzspannung) der in den Hohlräumen des Isolierstoffes eingeschlossenen Gase, abhängig von der Zahl und Beschaffenheit der Fehlstellen usw. beeinflußt.

Mit wachsender Frequenz begrenzt die Eigenerwärmung des Kondensators, die von der Oberfläche des Wickels, dem Durchmesser der Anschlußdrähte sowie der Verlustleistung

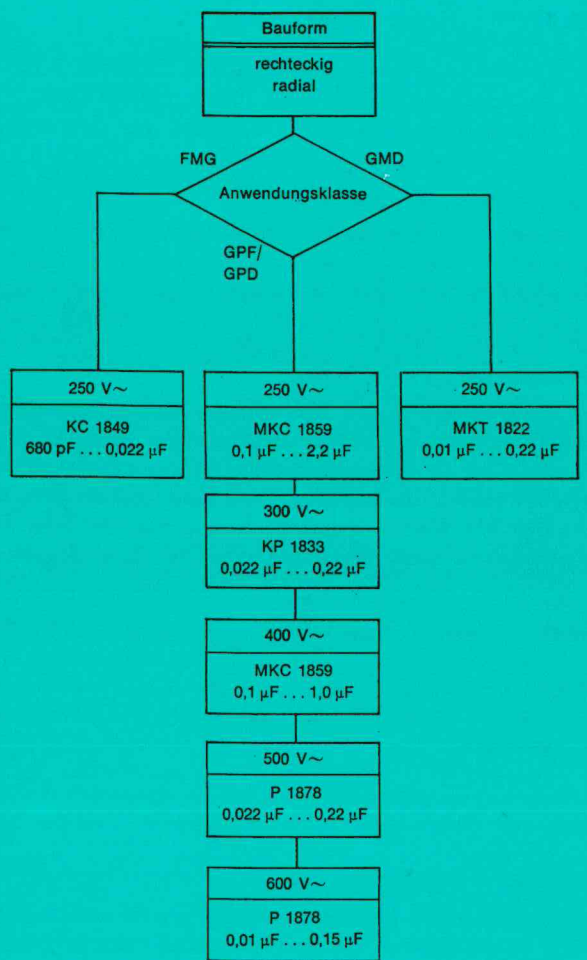
$$P_V = U^2_{eff} \cdot \omega \cdot C \cdot \tan\delta$$

abhängt, die zulässige Wechselspannung. Eine Übersicht über die für sinusförmige Wechselspannungen ab 250 V~ geeigneten Kondensatoren findet sich in Tab. II.

## 5. Impulsbetrieb

Einen Spezialfall sinusförmiger Wechselspannung stellt die Pulsspannung beliebiger

**Wechselspannungsbelastung (50 Hz) [1]**



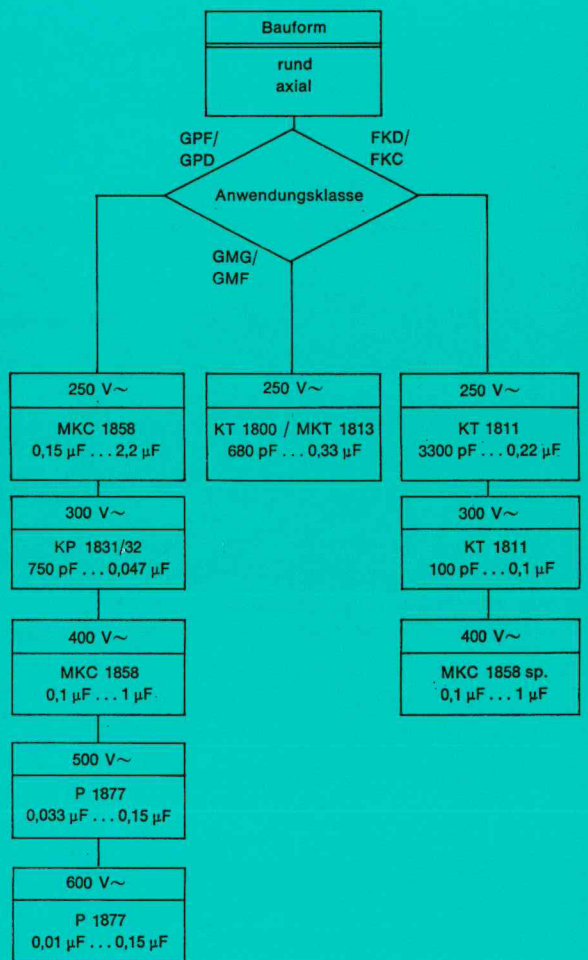




Tabelle II

[1]) Ausgenommen sind Funkentstörkds. mit Prüfzeichen sowie Funkentstörfilter

Kurvenform dar. Die für Impulse typische hohe Änderungsgeschwindigkeit hat entsprechende Feldänderungen im Dielektrikum zur Folge. Spannungsüberschläge, vor allem im Bereich des Randfeldes, müssen durch konstruktive Maßnahmen vermieden werden. Verlustarme Folien (Polycarbonat, Polypropylen) sowie eine sorgfältige Kontaktierung sollen eine unzulässige hohe Erwärmung des Wickels vermeiden helfen. Sonderausführungen für hohe Impulsspannungenn bzw. -ströme (Anwendung: halbleiterbestückte Leistungsstufen, z. B. Horizontal-Endstufen in TV-Empfängern, thyristorbestückte Netzgeräte, Kfz-Elektronik) sind im Fertigungsprogramm enthalten. Tab. III enthält eine Auflistung der Wickelkondensatoren unter dem Gesichtspunkt max. zulässiger Flankensteilheit. Dabei lassen Metallfolien-Kondensatoren meist wesentlich höhere Belastungen zu als metallisierte Kondensatoren.

Wenn auch mit

$$i_{max} = C \frac{du_{max}}{dt}$$

annäherungsweise der zulässige Scheitelstrom ermittelt werden kann, so ergeben doch Oszillogramme ein genaueres Bild von den Spannungs- und Stromverhältnissen am Kondensator. Beispielsweise ermöglicht die Integration des Stromes über der Zeit unter Berücksichtigung der Impulsfolgefrequenz, der Kapazität und des Verlustfaktors die Bestimmung der Eigenerwärmung, deren Begrenzung zur Vermeidung von Wärmedurchschlägen erforderlich ist.

## 6. Engtolerierte Kapazitätswerte

Schwingkreise, Filter, Teiler- und Komparatorschaltungen hoher Genauigkeit sowie symmetrisch aufgebaute Kreise verlangen Kondensatoren mit eingeengten Toleranzen, wie sie in Tab. IV aufgeführt sind. Bei den meisten Ausführungen wird die Toleranzeinengung durch ökonomische Überlegungen, z. T. auch durch die zeitliche Kapazitätsinkonstanz, begrenzt. Sonderanforderungen können jedoch jederzeit erfüllt werden.

## 7. Isolationswiderstand

Der Isolationswiderstand des Kondensators wird im wesentlichen mit Unregelmäßigkeiten im atomaren Aufbau des Isolierstoffes (Ionenleitung) erklärt. Sieht man von den Oberflächen-Kriechwiderständen der Umhüllung ab, so ist der Isolationswiderstand als Charakteristikum des Dielektrikums aufzufassen. Hohe Isolationswiderstände (bzw. große Zeitkonstanten) werden vor allem in Zeitkreisen und Analogspeicherbausteinen sowie in hochwertigen Integrationsgliedern (Meß-

**Impulsbelastbarkeit**
(max. zulässige Flankensteilheit du/dt)

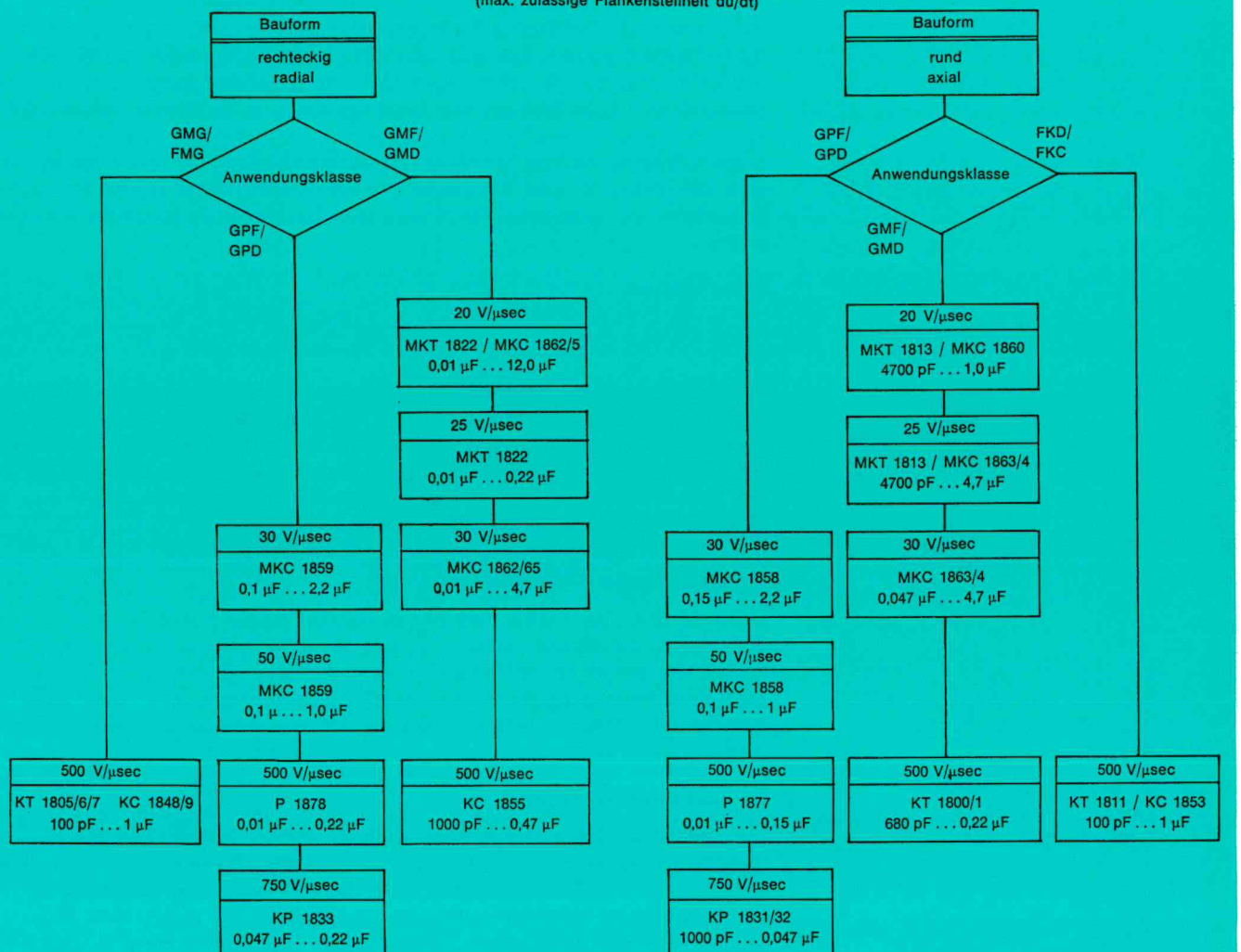



Tabelle III

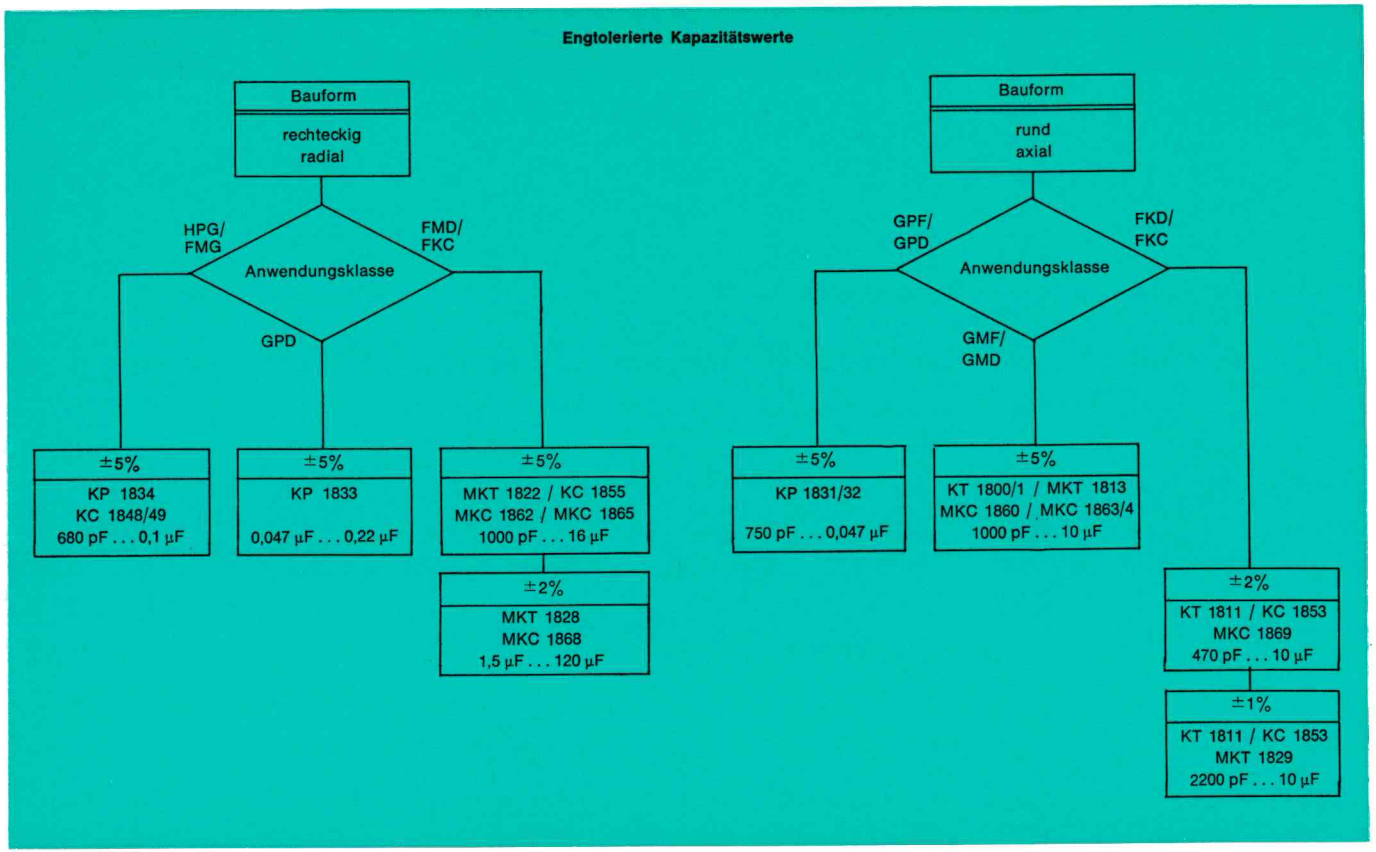



Tabelle IV

technik) eingesetzt. Tab. V führt einige Beispiele für Kondensatoren an, die für die o. g. Applikationen besonders geeignet erscheinen, wobei sich die Auswahl auf Kondensatoren der Klassen F bis C mit Kapazitätswerten ab 1000 pF beschränkt.

## Zusammenfassung:

Nach einem Überblick über die wichtigsten Eigenschaften moderner Wickelkondensatoren wurden nach diesen Merkmalen aufgestellte Tabellen vorgestellt, die bei gegebener Anwendung die Auswahl aus einem umfangreichen Fertigungsprogramm erleichtern sollen.

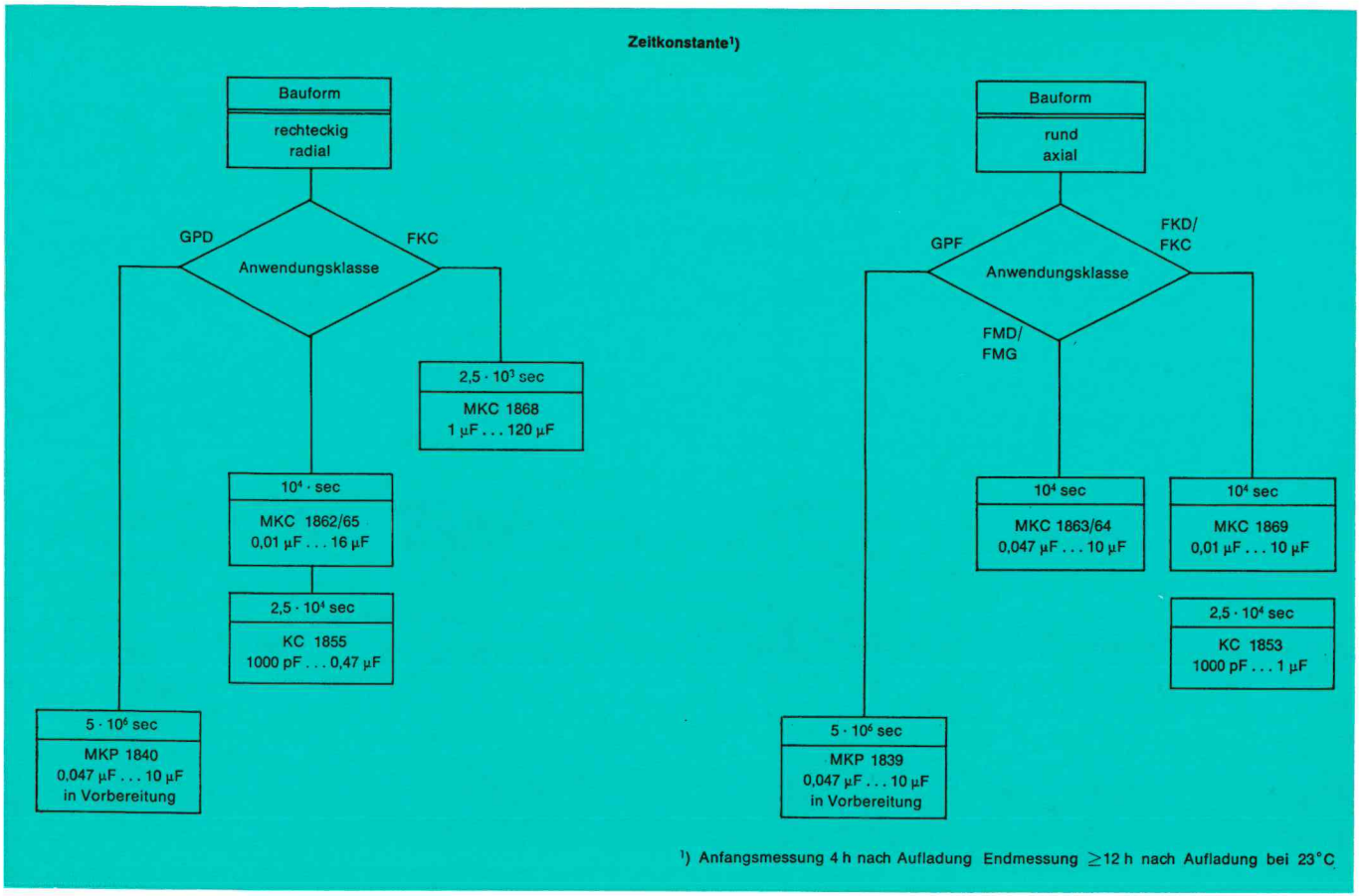



Tabelle V

**Literaturhinweise:**

Küpfmüller, Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Springer 1965

Bitterlich, Elektronik, Springer 1967

Zinke, Widerstände, Kondensatoren, Spulen und ihre Werkstoffe, Springer 1965

Liebscher/Held, Kondensatoren, Springer 1968

Firmenzeitschriften, Kondensatoren- und Widerstandstechnik

Erich Thiele

# Qualität setzt sich durch - der Stichprobenplan ein Bestandteil Techn. Lieferbedingungen

## Einleitung

Für eine Industrie, die konkurrenzfähig bleiben will, sind Qualität und Zuverlässigkeit wichtige Voraussetzungen.

Kundenforderungen nach immer besserer und vor allem gesicherter Qualität bei gleichzeitig ständig zunehmendem Preisdruck im Bereich der elektronischen Bauelemente zwingen den Hersteller, nicht nur seine Fertigungsverfahren, sondern auch seine Verfahren zur Qualitätssicherung einer besonderen kritischen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu unterziehen. Unter den gegebenen Möglichkeiten hat sich als optimal eine Kombination aus Stückprüfung (Vollprüfung) und Stichprobenkontrolle herauskristallisiert. Welchen Parameter man 100%ig und welchen man stichprobenartig prüfen wird, hängt von der jeweiligen Bauelemente-Konstruktion ab, wobei für die erforderliche Entscheidung im wesentlichen die zur Herstellung verwendeten Materialien und das betreffende Fertigungsverfahren ausschlaggebend sein werden. Dies gilt für die innerbetriebliche Qualitätssicherung.

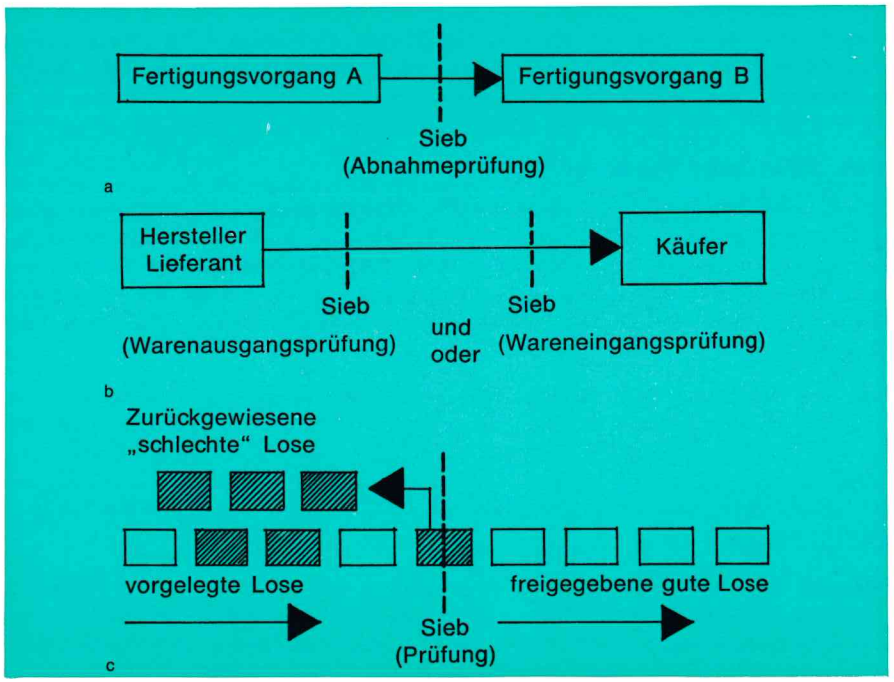



Bild 1
Prinzip der Zwischenprüfung (a)
Prüfung bei beiden Vertragspartnern (b)
Siebwirkung eines Prüfvorganges (c)

Veröffentlicht in:
Funkschau
Heft 6/73

In Kundenspezifikationen wird man sich hingegen von vorneherein auf Abnahmebedingungen einigen, die sich auf attributive Stichproben-Prüfergebnisse beziehen lassen. Dazu sind klar definierte Qualitätsforderungen notwendig, die neben den meist festliegenden technischen Kriterien auch eine Vereinbarung über die statistischen Kriterien voraussetzen, wie

a) das anzuwendende Stichprobensystem,

b) die Einordnung der Prüfparameter in Fehlerklassen,

c) die Zuordnung von AQL-Werten.

Angesichts der verschiedenartigen Kundenwünsche, vor allem hinsichtlich der AQL-Werte, muß man seitens des Herstellers bedauern, daß die Bemühungen einer Expertengruppe in den Jahren 1970/71 bezüglich der Fehlerklassen und AQL-Werte zu einer gewissen Normung zu gelangen, insbesondere wegen rechtlicher Bedenken bis heute nicht den erwünschten Erfolg gebracht haben.

Mit dem nachfolgenden Beitrag unternimmt der Verfasser den Versuch, speziell den Begriff "AQL" zu analysieren, um die vielschichtigen Auffassungen hierüber auf einen allgemeingültigen Nenner zu bringen und damit die Verhandlungen über Techn.-Lieferbedingungen ein wenig zu erleichtern.

## Das praktische Problem

Hat man sich mit dem Kunden über fast alle kaufmännischen und technischen Lieferbedingungen geeinigt, werden ganz ohne Zweifel auch über die Qualität der anzuliefernden Teile, insbesondere aber über deren Prüfung, vertragliche Vereinbarungen zu treffen sein. Derartige Abmachungen haben aber nur dann einen Sinn, wenn ihre Erfüllung in einer von beiden Parteien anerkannten, objektiven Weise kontrolliert werden kann.

Man wird sich also fragen müssen, welche Möglichkeiten der Besteller hat um festzustellen, ob eine ihm zur Abnahme vorgelegte Lieferung tatsächlich nicht mehr als die im Liefervertrag zugestandenen p% Ausschuß enthält. Selbstverständlich werden beide Seiten bemüht sein, stets die Null-Prozentgrenze anzustreben, doch ist dies aus bestimmten Gesetzmäßigkeiten heraus auch nicht nach Stückprüfungen (Vollprüfungen) zu gewährleisten.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird man sich für die wirtschaftlichen statistischen Stichprobenverfahren entschließen, mit denen es möglich ist, eine Lieferung mit einer Wahrscheinlichkeit zumeist von mehr als 90% richtig zu beurteilen, d. h. sie bezüglich ihres prozentualen Fehleranteils anzunehmen oder zurückzuweisen.

Bild 2 Statistisches Stichprobenverfahren

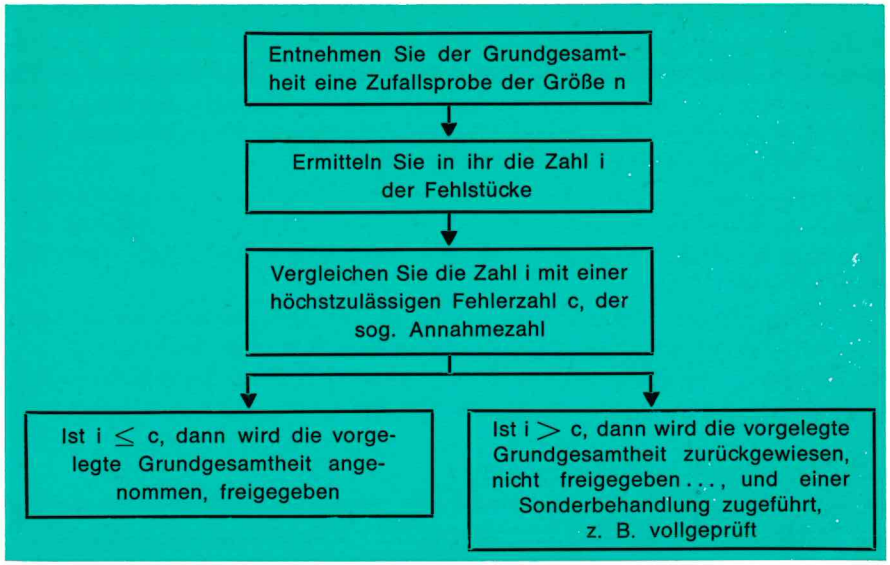



Bild 3 Annahmekennlinien für n = 50; c = 0, 1 und 2

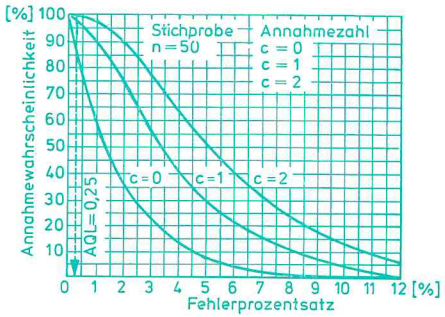
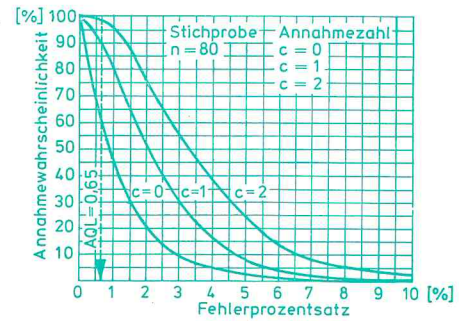



Bild 4 Annahmekennlinien für n = 80; c = 0, 1 und 2




**Die Annahmekennlinie** (Operationscharakteristik - OC)

Hier lassen sich nicht alle Einzelheiten im Zusammenhang mit der Anwendung von Stichprobenvorschriften (Zufallsstichprobe, Stichprobenplan, n-c-Relation usw.) ausführlich besprechen. Zweckmäßigerweise überläßt man die praktische Durchführung derartiger Arbeiten dem durch die D. G. Q. (Deutsche Gesellschaft für Qualität, früher ASQ) ausgebildeten Fachmann.

Ein gutes Partnerschaftsverhältnis zwischen Hersteller und Käufer setzt neben dem zu vereinbarendem Qualitätsniveau einige fundierte Kenntnisse zumindest über den wohl am häufigsten vorkommenden Begriff "AQL-Wert" voraus.

Die Annahmekennlinien sind die Grundlage aller Stichprobenpläne für die Attributprüfung und sind nach mathematisch-statistischen Gesetzen ermittelt. Sie geben zu dem in einer bestimmten Lieferung befindlichen Prozentsatz fehlerhafter Teile (nicht Fehler) auch die Annahmewahrscheinlichkeit dieser Lieferung an.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen Beispiele möglicher Annahmekennlinien.

Von der gewählten Stichprobengröße -n- und der in dieser Stichprobe zugelassenen Anzahl fehlerhafter Teile -c- hängt die Form einer Kennlinie ab.

Mit zunehmendem Stichprobenumfang wird der Kurvenzug einer solchen Kennlinie steiler; somit wird die Beurteilung der Lieferung genauer, die Trennung zwischen guten und schlechten schärfer (Vergleiche Annahmekennlinien für n = 50 und n = 80).

Eine Erhöhung der Annahmezahl -c- bedeutet eine Verschiebung der Kurve nach rechts, d. h. es werden Chargen mit höherem Fehlerprozentsatz angenommen (Vergleiche Annahmekennlinien mit c = 1 und c = 2).

Jede der aus verschiedenen n-c-Relationen entstehenden Kennlinie hat im Stichprobenplan (z. B. des Military Standard 105 D oder den ASQ-Stichprobentabellen) eine Kenngröße, die als AQL bezeichnet wird (AQL = Acceptable Quality level = annehmbare Qualitätsgrenzlage).

Der AQL-Wert ist der oberste Prozentsatz fehlerhafter Teile, der bei einer Stichprobenprüfung als befriedigender Verfahrensdurchschnitt angesehen werden kann.

Die vereinbarte Festlegung einer AQL bedeutet nicht, daß der Lieferant bzw. Hersteller berechtigt ist, wissentlich fehlerhafte Einheiten eines Produktes zu liefern.

Lieferungen, deren Fehlerprozentsatz $\leqq$ des vorgegebenen AQL-Wertes ist, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen.

Im Mil-Std-105 D sind z. B. solche n-c-Relationen zusammengestellt, die bei Einhaltung ihrer Kenngrößen eine Annahmewahrscheinlichkeit von durchschnittlich $\geqq$ 90% sicherstellen.

Beispiel: n = 80, c = 1. (Bild 4)

Die Ordinate gibt die Annahmewahrscheinlichkeit in Prozent, die Abszisse den prozentualen Anteil fehlerhafter Einheiten im vorgestellten Los an. Hat das vorgelegte Los einen Anteil fehlerhafter Einheiten von z. B. 0,65% (Abszissenwert 0,65%), so liest man auf der Ordinate eine Annahmewahrscheinlichkeit von 90% ab.

D. h. von jeweils 100 mit einem Ausschußanteil von 0,65% angelieferten Losen werden durchschnittlich 90 Lose angenommen und 10 Lose zurückgewiesen. Würde in einem anderen Falle ein vorgestelltes Los einen Ausschußanteil von 2,5% haben, so ergibt die Ordinate eine Annahmewahrscheinlichkeit bei gleicher n-c-Relation, von nur noch etwa 40%.

Analog dazu, bei einer Annahmewahrscheinlichkeit von 90%, ergibt sich aus der Kennlinie für n = 50 und c = 0 ein AQL-Wert von 0,25%.

## Praktische Folgerungen:

Der Kunde wünscht ein optimal zuverlässiges Produkt für einen bestimmten Anwendungszweck und zu einem entsprechend angemessenen Kaufpreis. Daraus resultiert,

daß es weder praktisch noch ökonomisch wäre, ein Produkt mit dem Ziel der „absoluten Perfektion“ herzustellen. Sinnvoll hingegen ist es, das erforderliche Qualitäts-Niveau und somit die Kosten des Produktes auf den jeweiligen Verwendungszweck abzustimmen.

Über Qualität zu sprechen, setzt meßbare Größen voraus. Das gilt nicht nur für die technischen Parameter, sondern gilt genauso für die statistischen Größen, wie das Stichprobensystem und vor allem den AQL-Wert bzw. die Annahmekennlinie, die nun einmal zur Abgrenzung des zu vereinbarenden Qualitäts-Niveaus unabdingbar sind.

Der Trend in der Industrie geht in zunehmendem Maße in Richtung zur dokumentierten Qualität. Es wird daher zweckmäßig sein, sich künftig noch mehr damit auseinanderzusetzen.

**Literaturhinweis:**
ASQ/AWF 1 (1968) — ASQ-Stichprobentabellen zur Attributprüfung

Erschienen in der Zeitschrift Funkschau, Heft 6, März 1973 unter der Überschrift:
„Was sind AQL-Werte?“

Paul Petrick

# Polypropylen-Kondensatoren ein fortschrittliches Programm

Polypropylenfolie kann nicht mehr als neues Dielektrikum-Material zur Herstellung von Kondensatoren betrachtet werden. Einige Ausführungen von KP-Kondensatoren gehören bereits mit genügend Langzeiterprobung im Versuch und Betrieb zur Standardbestückung von Geräten. An Stellen mit Sonderanforderungen sind sie zum Teil gar nicht ohne weiteres durch Kondensatoren mit anderen Dielektrika ersetzbar, und neue Sonderanwendungen vermehren laufend die Zahl von KP und MKP-Ausführungen.

Die steigende Anwendung ist eine Folge der ausgezeichneten elektrischen Eigenschaften der Polypropylenfolie. Aus der relativ hohen Anzahl der Hersteller – eine erfreuliche Entspannung gegenüber der bei anderen Kunststoff-Folien häufig üblichen Monopolstellung eines oder weniger Hersteller – kann für die einzelnen Anwendungen der geeignetste Typ zur Optimierung der mechanischen und elektrischen Eigenschaften ausgewählt werden.

Die folgende Beschreibung der Eigenschaften beschränkt sich im wesentlichen auf die Angabe typischer Werte:

## 1. Eigenschaften der Folie

Die für die Anwendung interessantesten Merkmale der Polypropylenfolie sind der sehr niedrige tanδ über einen sehr weiten Frequenzbereich (vergleichbar mit Polystyrol), der sehr hohe Isolationswiderstand und ein fast linearer negativer TK.

Die Absolutwerte des Verlustfaktors der Folie, wie sie vom Hersteller angegeben werden, können nur als Anhaltspunkt angesehen werden, z. B. $1{,}8.10^{-4}$/1 kHz, gemessen je nach Hersteller 1,1 bis $1{,}8.10^{-4}$/1 kHz. Entscheidend sind die durch Auswahl der Folie, Aufbau und Verarbeitungsbedingungen erzielbaren Werte im Kondensator.

Der Isolationswiderstand wird von Folienherstellern als spezifischer Widerstand mit $4.10^{17}$ Ωcm bis $10^{19}$ Ωcm bei 23 bis 25 °C angegeben. Wesentlich erscheint, daß Feuchtigkeit, im Gegensatz zu anderen Folien mit hohen Isolationswerten, von der Folie weder durchgelassen noch aufgenommen wird und auch die Oberflächenleitfähigkeit kaum beeinflußt. Sogenannte Monoblock-Kondensatoren, das sind Ausführungen nur aus Kunststoff-Folie mit Verschluß, z. B. durch verschmolzenes Dielektrikum (siehe Abschnitt 2. KP 1834), verhalten sich bei Feuchtebeanspruchung auch ohne nachfolgende Trocknung weitgehend unempfindlich.

Die DK wird von den Herstellern der Folie mit ca. 2,2 fast unabhängig von der Frequenz angegeben, was etwa Polystyrol entspricht. Der Temperaturgang ist ebenfalls ähnlich Polystyrol mit ca. $-150.10^{-6}$/°C.

Erschienen in der Zeitschrift
Bauelemente der Elektrotechnik

Die Spannungsfestigkeit wird für Gleichspannung mit 500 bis 600 V/µ angegeben, was etwa den Werten von Polyesterfolie entspricht. Für die tatsächliche Belastbarkeit bei Folien-Kondensatoren ist allerdings die Zahl der Fehlstellen und mechanische Robustheit entscheidender, während bei metallisierten Kondensatoren die typische Spannungsfestigkeit ausgenützt werden kann. Ein Vergleich der zulässigen Feldstärke zeigt steigende Werte in der Reihenfolge Polystyrolfolie-Polypropylenfolie-Polyesterfolie.

Besonders hervorzuheben ist die Temperaturbeständigkeit von Polypropylenfolie, die gegenüber Polystyrol eine Erhöhung der oberen Grenztemperatur auf zunächst 85°C erlaubt. In Zukunft dürfte 100° mit ausreichender Zuverlässigkeit erreicht werden. Die höhere obere Grenztemperatur an sich wäre für den Betrieb noch nicht entscheidend, für den Anwender entfallen aber alle Probleme beim Einlöten in gedruckte Schaltungen. Besondere Schutzmaßnahmen, wie z. B. bei Styroflex-Kondensatoren, sind nicht erforderlich.

Ein weiterer Vorzug der Polypropylenfolie ist die chemische Beständigkeit, Lösungsmittel greifen im Gegensatz zu Polystyrol oder Polycarbonat (Makrofol) z. B. beim Abwaschen des Flußmittels von gedruckten Schaltungen, nicht an.

## 2. KP-Kondensatoren

1. Die Entwicklung bei Polypropylen-Kondensatoren begann mit Metallfolie-Ausführungen. Eine Kopie von Polystyrolbauformen erschien aufgrund des unterschiedlichen Schrumpfverhaltens nicht sinnvoll. Die Möglichkeit, eine steckbare Bauform direkt auf der Platine im Schwallbad zu löten, ließ eine Ausführung mit einseitigen Anschlüssen am günstigsten erscheinen (Abb. 1, KP 1834). Wegen der leichten Bestückbarkeit, chemischer, mechanischer und thermischer Unempfindlichkeit ist der Polypropylen-Monoblock-Kondensator in kurzer Zeit zu einem Standardbauelement der Unterhaltungselektronik geworden.

   Umfangreiche Prüfungen beweisen, daß die Wahl richtig war.

   Feuchteprüfung bei 40°C/95% rF verursacht selbst nach 56 Tagen nur Kapazitätsänderungen von 0,1 bis 0,3% je nach Kapazitäts-Wert und Nennspannung. Der Isolationswiderstand sinkt auf ca. 50.000 bis 100.000 sec, ein Wert, der selbst die Anfangswerte vergleichbarer Polyester-Kondensatoren überschreitet. Der tan δ bleibt praktisch unverändert. Der Feuchtebeiwert beträgt zwischen 50% und 95% rF nur 20 bis $40.10^{-6}$/% rF, und ist damit wesentlich niedriger als bei anderen Dielektrika.

   Der Temperaturkoeffizient liegt ziemlich linear zwischen -100 und $-200.10.^{-6}$/°C.

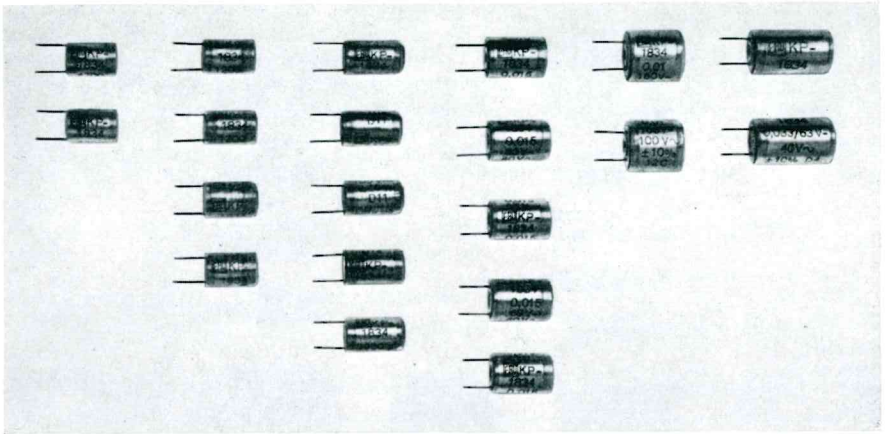


Abb. 1

Bei Dauerprüfungen unter verschiedenen Bedingungen trat sehr geringer Ausfall auf. Als Bezugspunkt wurde 1,4 x $U_N$/85°C verwendet, wobei bis zu 5000 Std. Betrieb max. 0,1%/1000 Std. Ausfall zu verzeichnen war.

2. Mit Einführung der Solid State Geräte im Farbfernsehbereich war unabhängig vom Konzept an einigen Stellen der Schaltung Bedarf an Kondensatoren, die mit hohen Strömen, hoher Flankensteilheit und hohen Impulsspannungen bei 16 kHz belastet werden können. Diese Anforderungen konnten nur durch sehr verlustarme Kondensatoren mit Anschluß an Metallfolienbelägen für den Stromübergang erfüllt werden.

   Die hohe thermische Belastung erforderte eine schwer entflammbare Umhüllung. In den Geräten werden je nach Konzept rund axiale oder flache, steckbare Bauformen bevorzugt (Abb. 2).

   Da die auftretenden Impulsspannungen meist den Ionisationseinsatz von üblichen Kondensatoren überschreiten, war die sicherste Lösung die Verwendung von Serienschaltungen, wobei der gemeinsame Belag Metallfolie oder Metallisierung sein kann. Bei Verwendung von metallisierter Folie werden sehr kleine Abmessungen erzielt.

   Die Bauformen entsprechend Abb. 2 KP 1831, 1832 und 1833 mit Spannungsbereich von 400 V- bis 2 kV (und bei Bedarf höher) und C-Werten von 1000 pF bis 0,47 µF, zeigen selbst bei härtester Belastung aufgrund der geringen Ver-

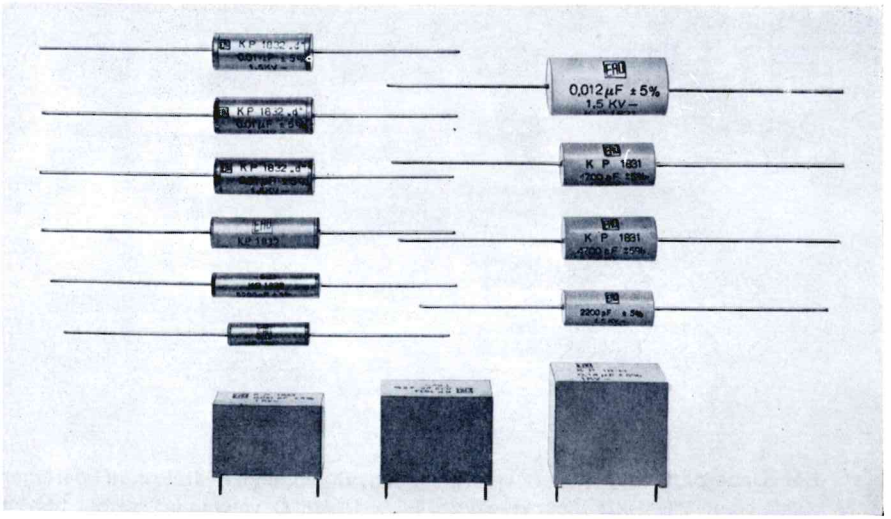



Abb. 2

luste nur unerhebliche Erwärmung und aufgrund der Draht/Metallfolie-Kontaktierung Belastbarkeit mit sehr hohen Flankensteilheiten (750 V/µsec). Die aufgrund von Anforderungen der Unterhaltungselektronik entwickelten Bauformen sind ebenso bei professioneller Anwendung vor allem für Strom- und Spannungsbelastung bei höheren Frequenzen geeignet. Bei 50 Hz Betrieb sind 250 V bis 400 V Dauerbelastung zulässig.

Generell kann die als KP 1831 bis 33 realisierte Aufbauart als wegweisend für die Entwicklung von Kondensatoren für Transistor- und Thyristorablenkungen in Farbfernsehgeräten bezeichnet werden. Sowohl in Europa wie den USA wurde sie deshalb von vielen Herstellern nachgebaut.

## 3. MKP-Kondensatoren

Die Einführung von metallisiertem Polypropylen begann wegen der geringeren Verluste auf dem Wechselspannungsgebiet bei Kondensatoren mittlerer Größe. Bei Klein-Kondensatoren spielt dieser Umstand keine entscheidende Rolle, wohl aber das sehr gute Regenerierverhalten des Polypropylenfilmes.

Besondere Beachtung verdient bei metallisierten Kondensatoren ganz allgemein die Kontaktierung. Bei Polypropylen müssen andere Gesichtspunkte berücksichtigt

werden als z. B. bei Polyester oder Polycarbonat. Der einwandfreie Übergang zur dünnen Metallisierung ist nur bei Vorbehandlung der Folie zur Verbesserung der Haftung gewährleistet.

Bisher haben bevorzugt zwei Anwendungen zur Erstellung von Bauformen geführt.

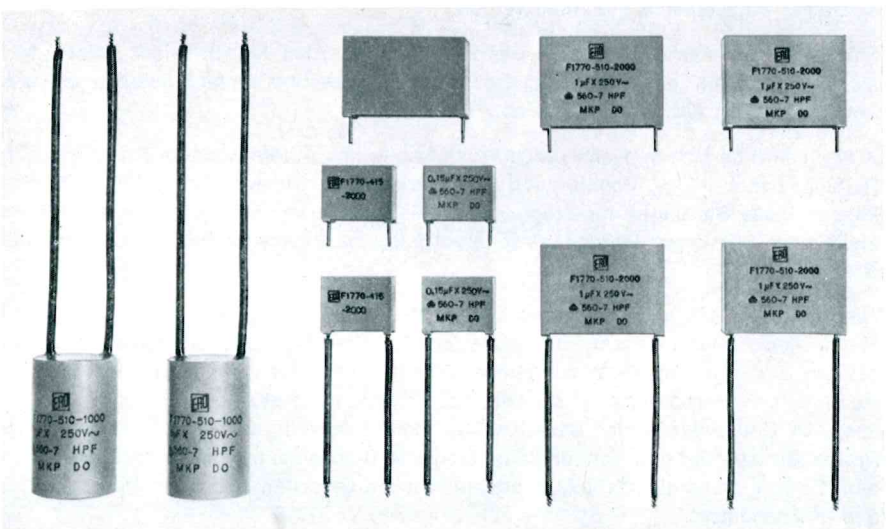
1. Einsatz auf dem Wechselspannungsgebiet auch als Funkentstör-Kondensator (F 1770 - Abb. 3). Das Dauerverhalten der Kondensatoren ist auch bei Überlastung wegen des gegenüber anderen Filmmaterialien höheren Ionisationseinsatzes, eine Folge der geringeren Dielektrizitätskonstante, sehr gut.

2. Der hohe Isolationswiderstand bzw. die hohe Zeitkonstante kann für Anwendung in Zeitkreisen bzw. Speicherschaltungen ausgenützt werden. Die Bauformen sind grundsätzlich ähnlich wie bei schon bekannten rund axialen oder rechteckig steckbaren Ausführungen (MKP 1839/1840).

## 4. Starkstromanwendung

Bei Wechselspannungs-Kondensatoren auf dem Starkstromgebiet ist der Einsatz von Polypropylenfilm allein, Polypropylenfilm mit Papier gemischt und metallisiertem Polypropylen beträchtlich und nimmt ständig weiter zu. Dieser Sektor bleibt jedoch außerhalb der Betrachtungen.

Abb. 3



Rolf Röder

# MÜLL IM ÄTHER

## . . . auch ein Umweltschutzproblem?

Rundfunkempfang immer schlechter, ungestörtes Fernsehen nur noch über Kabelleitungen möglich, elektronisch gesteuerte Geräte machen was sie wollen. Immer häufiger müssen diese Probleme diskutiert werden.

Aufgrund der starken Zunahme an Elektrogeräten in den letzten Jahren speziell im Haushalt und durch den verstärkten Einsatz von stufenlosen elektronischen Regelungen erhöhte sich der Störpegel wesentlich. Das Zauberwort 'Elektronik' kurbelte auf allen Sektoren die Umsätze an. Der Luftraum als Träger drahtloser Nachrichtenübermittlung und das elektrische Versorgungsnetz wird, für den Menschen nur mittelbar wahrnehmbar, durch den Hochfrequenzmüll dieser Elektronik zunehmend verschmutzt.

Die Folgen hiervon sind 'unüberhör- und unübersehbar' im wahrsten Sinne des Wortes. Wer von uns hat noch nicht geschimpft, wenn das Fernsehbild durch häßliche Streifen und Striche, die Stereo-Rundfunksendung durch Knacke und Prasseln gestört wurde. Alles dies kann Folge der Elektronik und der Geräte sein.

'Hochfrequenzmüll' entsteht immer dann, wenn irgendein Elektrogerät in Betrieb genommen wird. Sei es durch Funkenbildung z. B. an einer schleifenden Kohlebürste oder durch gewollt oder ungewollt erzeugte hochfrequente Schwingungen der eingebauten 'Elektronik', welche ähnlich wie bei einem Rundfunksender, abgestrahlt oder über das Leitungsnetz ausgebreitet werden. Abhilfe hiergegen kann nur durch eine ausreichende Funkentstörung bzw. Störfestmachung der Geräte mittels geeigneter spezieller Bauelemente getroffen werden.

Störungen des Fernsehens bzw. des Rundfunks werden jedoch leider immer noch als 'Naturereignis' hingenommen. Sie tun nicht weh und dauern meist bloß kurze Zeit. Man findet sich eben damit ab.

Kritisch wird es jedoch, wenn durch Verseuchung des Äthers wichtige Funkdienste im Rettungsdienst, Flug-, Schiffs- und Bahnverkehr gestört werden. Lebensgefährlich können diese Störungen für Träger elektronischer Herzschrittmacher werden. Starke elektrische Störungen können diese medizinischen Hilfsmittel funktionsunfähig machen.

Was zu tun ist, um alles das zu verhindern, ist hinreichend bekannt. Die technischen Mittel hierzu sind in Form von speziellen Bauelementen wie Funkentstör-Kondensatoren, Drosseln und Filter vorhanden. Richtig eingesetzt vermindern diese Bauelemente den 'Hochfrequenzmüll' so weit, daß er nicht mehr störend in Erscheinung tritt. Spezielle Unternehmen der Bauelemente herstellenden Industrie stehen hierfür den Anwendern mit Rat und Tat zur Seite. Moderne Bauelemente wurden geschaffen und dem Service dienende Meßplätze erstellt, um die Ursachen der Störungen zu finden und zu beseitigen.

Erschienen in der Zeitschrift
elektro-handel
Heft 3/74

Das Problem der Verhinderung von Funkstörungen hat der Gesetzgeber frühzeitig erkannt und in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bundespost, dem VDE und der Industrie gesetzliche Regelungen zur Funkentstörung erlassen. Internationale Gremien befassen sich ebenfalls mit diesem Problem. Innerhalb der EG wird es in absehbarer Zeit einheitliche Vorschriften und Grenzwerte der zulässigen Störungen geben. Der grenzüberschreitende Verkehr mit nicht entstörten Geräten und der Verkauf dieser Geräte wird voraussichtlich verboten werden. Trotz allem – und leider noch immer – wird vom Gros der geräteherstellenden Industrie die Funkentstörung ihrer Geräte mit der 'linken Hand' behandelt. Das Funkentstörmittel ist das letzte Bauteil, an das man denkt:

Es ist zur 'normalen' Funktion des Gerätes nicht notwendig, bringt nur zusätzliche Kosten, und Platz ist in den Geräten ebenfalls nicht vorhanden. Es ist ein notwendiges Übel.

Das Funkentstör-Mittel gehört jedoch, genau wie ein Anker zum Motor, zu einem elektrischen Gerät als betriebsnotwendiges Bauteil.

Die gesetzlichen Regelungen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland sind derzeit im sogenannten 'Hochfrequenzgesetz' festgelegt. Obwohl von diesem Gesetz jeder einzelne Bürger dieses Landes als Betreiber von Elektrogeräten direkt betroffen wird und harte Strafen bei Inbetriebnahme eines nicht diesem Gesetz entsprechenden Gerätes drohen, ist es in Verbraucher- und Industriekreisen weitgehend unbekannt.

Die für den Verbraucher wichtigste Bestimmung dieses Gesetzes besagt:

> Ab 1. Januar 1971 dürfen nur noch solche elektrische Geräte neu in Betrieb genommen werden, soweit sie serienmäßig hergestellt und nicht Bestandteil von Anlagen sind, welche das Funkschutzzeichen des VDE-Verbandes tragen. Verstöße gegen diese Auflage können nach dem Hochfrequenzgesetz als Ordnungswidrigkeit mit Geldbußen bis zu 10.000,– DM belegt werden. Außerdem ist die Deutsche Bundespost berechtigt, das funkstörende Gerät ersatzlos einzuziehen.

Gravierende Vorschriften also für jeden einzelnen von uns.

Woran kann nun der Verbraucher erkennen, ob das zu erwerbende Gerät den Vorschriften des Gesetzes über die Funkentstörung entspricht?

Zur Kennzeichnung, daß elektrische Geräte die gesetzlichen Vorschriften zur Funkentstörung einhalten, vergibt die VDE-Prüfstelle nach entsprechender Überprüfung des Gerätes das Funkschutzzeichen. (Siehe Abbildung).

Trägt also ein neu erworbenes Elektrogerät dieses Zeichen, so kann der Erwerber sicher sein, daß das Gerät den Vorschriften entspricht.

Vor dem Erwerb eines Elektrogerätes ist der Verbraucher gut beraten, darauf zu achten, daß das neue Gerät dieses Zeichen trägt. Nur dann ist er vor den rechtlichen Folgen, welche das HF-Gesetz androht, geschützt, wenn er es in Betrieb nimmt.

Es ist heute jedoch noch immer möglich, z. T. aus Unkenntnis der Gesetzgebung, Geräte zu erwerben, welche das Funkschutzzeichen nicht tragen. Diese Geräte sollte der Käufer zu seiner eigenen Sicherheit zurückweisen.

Leider gibt es in der Industrie noch immer 'schwarze Schafe', die bewußt oder unbewußt solche Geräte an den Handel ausliefern, weil ein direktes Verbot hierfür nicht besteht.

Dem Käufer ist es hinterher untersagt, diese Geräte in Betrieb zu nehmen. Empfindliche Strafen erwarten ihn und nicht den Gerätehersteller oder den Handel. Aufklärung seitens der zuständigen Stellen wäre hier dringend notwendig.

Über den Schutz der Umwelt wird viel geredet und geschrieben: Hier ist ein Punkt, in dem jeder Einzelne – Gerätehersteller, Händler und Verbraucher – Umweltschutz in die Tat umsetzen kann.

Nicht umsonst wird von namhaften Testinstituten eine schlechte Funkentstörung stark qualitätsabwertend beurteilt.

Franz König

# Hochfrequenz-Eigenschaften von Funk-Entstörmitteln

Die von elektrischen Geräten, Maschinen und Anlagen erzeugten Funkstörungen dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Als Maßnahme zur Verringerung des Störvermögens kommt in erster Linie die Beschaltung der Störquellen mit Kondensatoren und Drosseln in Betracht. Entscheidend für die Entstörwirkung dieser Bauelemente sind neben den Nennwerten und einer optimalen Anordnung vor allem deren Hochfrequenz-Eigenschaften unter Betriebsbedingungen. Vorschriften und Normen für Funk-Entstörmittel enthalten daher auch Angaben über Meßverfahren zur Bestimmung von Scheinwiderstand, Resonanzfrequenz, Einfügungsdämpfung und Kernwiderstand.

Im folgenden wird über das unterschiedliche Hochfrequenzverhalten der üblichen Ausführungsformen von Funk-Entstörmitteln sowie dessen Abhängigkeit von Einbau und Belastung berichtet. Eingangs werden einige im Zusammenhang mit den Hochfrequenzeigenschaften gebräuchliche Begriffe erklärt.

**Der Scheinwiderstand**

eines Zweipol-Kondensators oder einer Drossel ist das Verhältnis der Eingangsspannung zum Eingangsstrom gemessen mit sinusförmiger Spannung. Mit Hilfe des Scheinwiderstandsverlaufes kann das Hochfrequenz-Verhalten der Bauelemente unter verschiedenen Bedingungen angegeben werden. Im § 12 c) von VDE 0560 Teil 7 ist eine Meßanordnung zur Bestimmung des Scheinwiderstandes von Kondensatoren, in DIN 41 260 eine entsprechende für Drosseln, angegeben.

**Als Resonanzfrequenz**

wird die niedrigste Frequenz bezeichnet, bei der der Scheinwiderstand eines Kondensators ein Minimum, bzw. der einer Drossel ein Maximum, erreicht. Die Resonanzfrequenz allein genügt für eine Beurteilung nicht. Sie muß immer in Verbindung mit dem Kapazitäts- bzw. Induktivitätswert betrachtet werden.

**Einfügungsdämpfung**

ist die Dämpfung, die entsteht, wenn in eine Anordnung mit einem bestimmten Wellenwiderstand ein Prüfling eingefügt wird. Sie wird bevorzugt für Vierpol-Kondensatoren und Funk-Entstörfilter angegeben.

Da sie nur für ein bestimmtes System gilt, kann die nach VDE 0560 Teil 7 bzw. VDE 0565 (z. Zt. Entwurf) gemessene Dämpfung nicht gleichermaßen bei der praktischen Anwendung erwartet werden, da dort in der Regel andere, bezüglich des Störers meistens unbekannte Verhältnisse vorliegen. Für den Vergleich von Kondensatoren ist der Dämpfungsverlauf ohne Einschränkung geeignet. Bei Drosseln und Filterkombinationen können in Bezug auf die zu erwartende Entstörung nur gleichartig auf-

Erschienen in der Zeitschrift
Radio Mentor Electronic

gebaute Entstörmittel miteinander verglichen werden. Doppeldrosseln auf Ferrit-Ringkernen ergeben beispielsweise bei gleichen Nenndaten ein völlig anderes Bild als Stabdrosseln mit einem Kern aus Dynamoblech.

Auch für Zweipol-Kondensatoren und Drosseln kann die Einfügungsdämpfung angegeben werden. Sie wird unmittelbar gemessen oder aus dem Scheinwiderstand errechnet. Für Kondensatoren gilt, sofern $R_s \ll Z$

$$a = 20 \lg \frac{Z}{2 R_s}$$

Für Drosseln gilt unter der Voraussetzung $R_s \gg Z$

$$a = 20 \lg \frac{R_s}{2 Z}$$

Dabei bezeichnet a die Einfügungsdämpfung (dB), $R_s$ den Scheinwiderstand (Ω) und Z den Wellenwiderstand (Ω).

**Der Kernwiderstand**

eines Vierpol-Kondensators ist das Verhältnis von Leerlauf-Ausgangsspannung zum Eingangsstrom, gemessen mit einer sinusförmigen Spannung. An seiner Stelle wird jedoch auch für Durchführungs-Kondensatoren meistens die Einfügungsdämpfung angegeben. Sofern der Kernwiderstand $R_k \ll Z$ gilt

$$a = 20 \lg \frac{Z}{2 R_k}$$

**Funk-Entstörkondensatoren**

als Querglieder zur Absenkung der Störspannung zwischen Leitungen oder zwischen einer Leitung und Masse (Erde) sollen im Hochfrequenzbereich eine möglichst kleine Impedanz aufweisen.

Unvermeidbare ohmsche Anteile spielen dabei kaum eine Rolle. Entscheidend vermindert wird dagegen die Entstörwirkung bei höheren Frequenzen durch die in Reihe mit der Kapazität liegenden induktiven Komponenten. Betriebsspannung und Strom sowie Betriebstemperatur haben nur wenig Einfluß auf die Hochfrequenz-Eigenschaften von Entstörkondensatoren. Eine Ausnahme bilden Keramik-Kondensatoren, deren Kapazität stark von Temperatur und anliegender Spannung abhängen kann.

Zweipol-Funk-Entstörkondensatoren haben, bedingt durch die herausgeführten Anschlüsse der Beläge, die größte Eigeninduktivität der üblichen Bauarten. Mit zwei

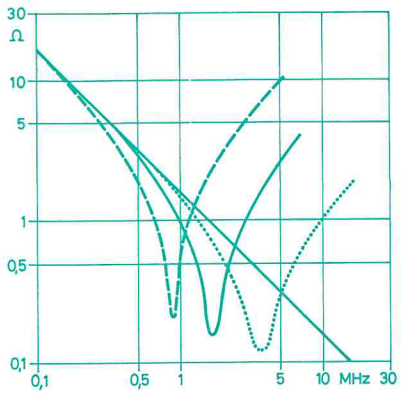



Abb. 1

je 50 mm langen Anschlüssen liegt die Resonanzfrequenz eines im übrigen günstig aufgebauten 0,1 µF-Kondensators bei etwa 1,7 MHz. Von den ≈88 nH Gesamtinduktivität entfallen ca. 66 nH auf die äußeren Zuleitungen und nur 22 nH auf die innerhalb des Bauelementes liegenden Zuleitungen und den Kondensatorwickel selbst. Abb. 1 zeigt den Scheinwiderstandsverlauf eines Kondensators mit unterschiedlich langen Anschlüssen sowie den Verlauf einer induktions- und verlustfreien Kapazität.

Abb. 1 Scheinwiderstandsverlauf von Zweipol-Kondensatoren 0,1 µF

– – – mit 2 je 150 mm langen Anschlüssen
——— mit 2 je 50 mm langen Anschlüssen
- - - - - mit 2 je 6 mm langen Anschlüssen

Für die Praxis geht daraus hervor, daß ein Zweipol-Kondensator kurz angeschlossen werden muß, wenn er bei höheren Frequenzen noch wirksam sein soll. Im § 12 von VDE 0560 Teil 7 werden von Nennkapazität und Bauform abhängige Mindestwerte für die Resonanzfrequenz verlangt.

Bei nichtkoaxialen Vierpol-Kondensatoren, sog. Breitbandentstörern, wird die Zuleitungsinduktivität vermieden, indem die zu entstörenden Leitungen durch den Kondensator hindurch oder an der Stirnseite des Wickels vorbeigeführt werden. Wegen der bei üblichem Aufbau verbleibenden Eigeninduktivität des Kondensatorwickels zeigen auch diese eine Resonanzfrequenz, die jedoch gegenüber Zweipol-Kondensatoren entsprechend höher liegt. Um die gute Entstörwirkung zu erhalten, muß beim Einbau auf ausreichende Entkopplung zwischen den ankommenden „störspannungsführenden Leitungen" und den abgehenden „entstörten Leitungen" geachtet werden. Bei Zweipol- und Vierpol-Kondensatoren können mehrere Kapazitäten in einem Bauelement zusammengefaßt werden. Üblich und auch HF-technisch günstig ist das Zusammenfassen von X- und Y-Kapazitäten.

Koaxiale Durchführungs-Kondensatoren weisen die besten Hochfrequenz-Eigenschaften auf. Sie besitzen nur einen konzentrisch durch den Wickel geführten Leiter für den Betriebsstrom und sind nur zur unsymmetrischen Entstörung bestimmt. Ein Belag der Kapazität ist mit der Durchführung, der zweite mit dem Metallgehäuse verbunden. Die bis über 1000 MHz reichende Entstörwirkung dieser Bauelemente kommt nur dann voll zur Geltung, wenn sie in die Wand eines HF-dichten Gehäuses eingebaut werden. Dadurch wird sowohl jegliche Zuleitungsinduktivität als auch die Kopplung von Eingang auf den Ausgang vermieden.

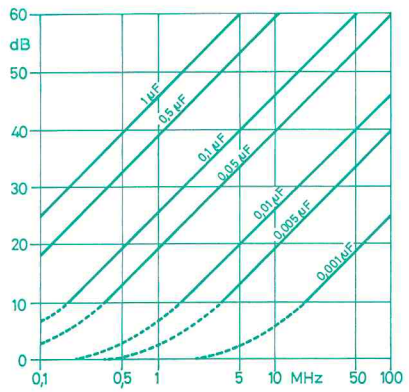



Abb. 2

Theoretische Einfügungsdämpfung von Kapazitäten im 60 Ω-System

Abb. 2 zeigt die theoretische Einfügungsdämpfung von Kondensatoren im 60 Ω-System.

In Abb. 3 ist vergleichsweise die Einfügungsdämpfung eines Zweipol- sowie eines nichtkoaxialen und eines koaxialen Durchführungs-Kondensators gegenübergestellt.

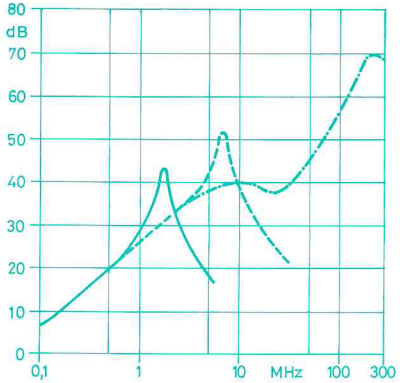
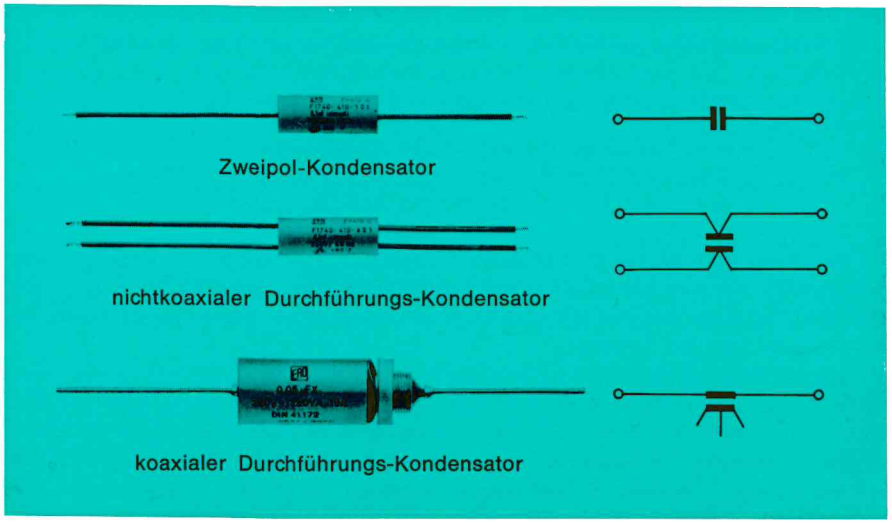



Abb. 3

Einfügungsdämpfung im 60 Ω-System
——— Zweipol-Kondensator 0,1 µF mit 50 mm langen Anschlüssen
– – – – nichtkoaxialer Durchführungs-Kondensator 0,1 µF
—·—·— koaxialer Durchführungs-Kondensator 0,1 µF

Abb. 4 zeigt verschiedene Ausführungen von Funk-Entstörkondensatoren.




**Funk-Entstördrosseln**

werden als Längsglieder in störstromführende Leitungen eingefügt. Sie sollen für den Betriebsstrom einen geringen Widerstand haben, den hochfrequenten Störstrom aber durch hohe Impedanz reduzieren. Drosseln sind immer dann zusätzlich notwendig, wenn mit Kondensatoren allein keine ausreichende Entstörung erzielt werden kann. Dies trifft vor allem bei geerdeten Störern zu, bei denen sich durch die Erdung starke unsymmetrische Störspannungskomponenten ausbilden, die mit Kondensatoren nicht genügend abgesenkt werden können, da die Kapazität der gegen Masse liegenden Y-Kondensatoren aus Sicherheitsgründen begrenzt ist. Unter anderem sind Drosseln aber auch bei Störquellen mit geringem Innenwiderstand und Geräten mit hohem Störvermögen im UKW-Bereich notwendig. Je nach Erfordernissen kommen sehr unterschiedlich aufgebaute Drosseln zur Anwendung. Bei allen wird die Entstörwirkung oberhalb der Resonanzfrequenz durch die im vereinfachten Ersatz-Schaltbild parallel zur Induktivität liegende Eigenkapazität der Wicklung mit zunehmender Frequenz verringert.

Die mit 1000 Hz gemessene Nennkapazität von Kondensatoren wird auch bei 150 kHz noch wirksam. Bei Drosseln dagegen sagt die bis 1 mH mit 160 kHz und darüber mit 20 kHz gemessene Nenninduktivität über die Wirksamkeit im Hochfrequenzbereich weit weniger aus. Dies trifft vor allem bei Verwendung von Kernmaterial mit stark frequenzabhängigen Eigenschaften und UKW-Drosseln zu. Stabdrosseln mit einem Kern aus Dynamoblech werden bei 150 kHz je nach Bauart nur mit etwa 60 – 90% des bei 20 kHz gemessenen Wertes wirksam. Dem bei 160 kHz gemessenen Nennwert von UKW-Drosseln, die den Frequenzbereich über 30 MHz erfassen sollen, kommt noch weniger Bedeutung zu.

Zur Entstörung im Langwellenbereich sind in der Regel einige mH notwendig. Die Resonanzfrequenz entsprechender Drosseln kann bei vertretbarem konstruktiven Aufwand höchstens bis zur beginnenden Kurzwelle hinaufgeschoben werden. Für die Erfassung höherer Frequenzbereiche werden sog. UKW-Drosseln mit Induktivitäten bis etwa 50 µH verwendet, die je nach Ausführung noch über 300 MHz hohe Impedanz aufweisen. Betriebsstrom und Einbauverhältnisse können bei Drosseln erheblichen Einfluß auf die Entstörwirkung ausüben.

Mehrfachdrosseln auf Ferrit-Ringkernen hoher Permeabilität haben für die Erfassung unsymmetrischer Störspannungskomponenten am Netzeingang die größte Bedeutung erlangt, da mit ihnen bei gleicher Induktivität und Belastbarkeit weitaus kleinere Abmessungen möglich sind als mit anderen Ausführungen. Wegen der geringen Sättigungsmagnetisierung hochpermeabler Ferrite müssen die Wicklungen dieser Drosseln so gestaltet werden, daß sich der Betriebsstrom kompensiert. Darauf muß bei der Herstellung und bei der Anwendung besonders geachtet werden. Nur eine Windung Unterschied bei den Wicklungen vermindert die Entstörwirkung bereits entscheidend. Für symmetrische (zwischen den Leitungen auftretende) Störspannungskomponenten sind Ferrit-Ringkerndrosseln praktisch wirkungslos, da sich diese wie der Betriebsstrom kompensieren.

Zur hochfrequenzmäßigen Verriegelung des nahezu stromlosen Schutzleiters können Einfachdrosseln auf Ferrit-Ringkernen verwendet werden, die in diesem Falle neben kleiner Abmessung und niedrigem ohmschen Widerstand noch den Vorteil haben, bei Auftreten eines Fehlers den induktiven Widerstand zu verlieren.

Schutzleiterdrosseln müssen aus Sicherheitsgründen den Bestimmungen VDE 0550 Teil 6 entsprechen.

Einfach- oder Mehrfach-Stabdrosseln mit Lagenwicklungen kommen hauptsächlich zur Erfassung symmetrischer Störspannungskomponenten in Betracht. Die Abhängig-

keit der Entstörwirkung vom Betriebsstrom ist bei zweckmäßigem Aufbau gering. Während jedoch die HF-Eigenschaften von Ringkerndrosseln wegen der sehr geringen Streuinduktivität nur wenig von den Einbauverhältnissen abhängen, wird die Wirksamkeit von Stabdrosseln durch die Umgebung stark beeinflußt. Benachbarte Metallteile bedämpfen erheblich, der Einbau in Metallgehäuse kann die wirksame Induktivität bis zu 50% reduzieren. Bei offenen oder in Kunststoffgehäusen eingebauten Drosseln müssen Kurzschluß-Windungen z. B. in Form umfassender metallischer Befestigungsschellen unbedingt vermieden werden. Ungeschirmte Stabdrosseln können in starken Feldern Störungen aufnehmen oder auf vorbeiführende Leitungen einkoppeln. Zur Verringerung der Eigenkapazität ist es üblich, die Wicklungen in Kammern aufzuteilen.

Abb. 5 zeigt die theoretische Einfügungsdämpfung von Induktivitäten im 60 Ω-System.

Abb. 6 zeigt Beispiele der Einfügungsdämpfung verschiedener Einfachdrosseln mit gleicher Nenninduktivität.

Phasenanschnitt-Steuerungen sind im Lang- und Mittelwellenbereich äußerst starke Störer und haben zudem nur einen sehr geringen Innenwiderstand.

Sofern nicht ein günstiger Verbraucher unmittelbar einbezogen werden kann, sind Drosseln zur Erhöhung des Innenwiderstandes der Störquelle erforderlich. In der üblichen Entstöranordnung (evtl. Abbildung) bilden Entstördrossel und Entstörkondensator bei durchgeschaltetem Halbleiter einen Parallel-Schwingkreis, der im Moment des Durchschaltens zum Schwingen angeregt wird. Diese Schwingungen müssen stark bedämpft sein, da sonst der durch den Halbleiter fließende Laststrom vom überlagerten Strom im Schwingkreis unter den Haltestrom abgesenkt werden kann und die Schaltung unstabil wird. Bedämpfend wirken hauptsächlich die Verluste in der Drossel und der über die niedrige Netzimpedanz parallel zum Schwingkreis liegende Verbraucher. Je günstiger das Verhalten der Drossel ist, um so kleinere Leistungen (hochohmige Verbraucher) können noch stabil geregelt werden. Am besten eignen sich spezielle Ringkerndrosseln mit nichtlinearem Verhalten. Vielfach werden aber weniger aufwendige Ausführungen mit Kernen aus Dynamoblech oder Eisenpulver verwendet und dafür Nachteile, z. B. stabiles Arbeiten eines Dimmers nicht ab 25 W, sondern erst ab 40 W Lampenlast in Kauf genommen.

Die mit einer Sinusspannung gemessene Induktivität einer Drossel ist kein Kriterium für die Entstörwirkung in einer Phasenanschnitt-Steuerung. Von einigen Herstellern wird daher eine effektive Induktivität angegeben, die sich unter Berücksichtigung der Entstörkapazität aus der Entstörwirkung errechnen läßt.

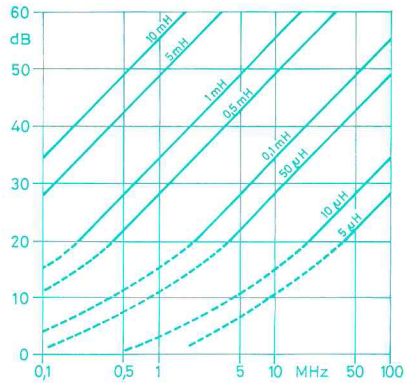



Abb. 5
Theoretische Einfügungsdämpfung von Induktivität im 60 Ω-System

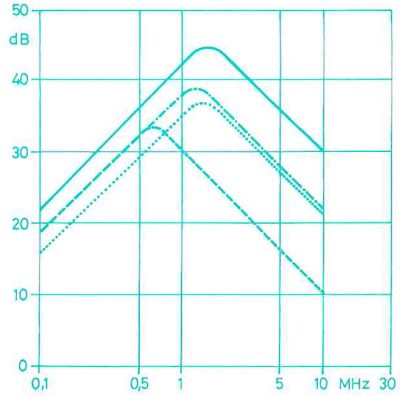



Abb. 6
Beispiele der Einfügungsdämpfung verschiedener Einfachdrosseln mit gleicher Nenninduktivität

1.) ——— Ringkerndrossel 2,5 mH bei 20 kHz

2.) – – – Stabdrossel 2,5 mH bei 20 kHz mit Kern aus Dynamoblech, 5 Lagen durchgehend gewickelt.

3.) – · – · Drossel wie 2.) Wicklung jedoch in 2 Kammern aufgeteilt.

4.) . . . . . Drossel wie 2.) jedoch eingebaut in Stahlgehäuse.

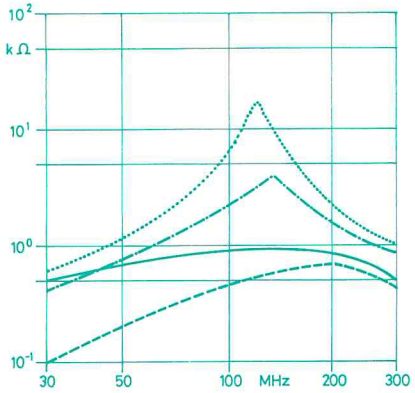



Abb. 7

Scheinwiderstand verschiedener UKW-Drosseln mit einer Nenninduktivität von 2,5 µH [gemessen bei 160 kHz)

1.) . . . . . Stabdrossel auf Ferritkern

2.) · — · — Stabdrossel wie 1.) jedoch an einem Metallteil liegend.

3.) ——— Drossel auf Ferrit-Rohrkern (unbelastet)

4.) — — — Drossel wie 3.) jedoch mit 2,5 A belastet.

UKW-Drosseln sollen hauptsächlich im Frequenzbereich über 30 MHz wirken. Üblich sind Einfachdrosseln auf Stabkernen oder Sechsloch- bzw. Rohrkernen. Kleine Eigenkapazität und geeignetes Kernmaterial sind Voraussetzungen für ausreichend hohen Scheinwiderstand.

Abb. 7 zeigt den Scheinwiderstands-Verlauf verschiedener Ausführungen mit gleicher bei 160 kHz gemessener Nenninduktivität.

Die Entstörwirkung der im Scheinwiderstand hochliegenden Stabdrosseln hängt stark von den Einbauverhältnissen ab. Hohe Güte dieser Ausführung kann zusammen mit Kapazitäten zu Resonanzeffekten im Kurzwellenbereich führen, deren Amplitude den zulässigen Funkstörgrad überschreitet. Drosseln auf Rohr- oder Sechslochkernen haben im UKW-Bereich zwar geringere Impedanz, sind jedoch bezüglich Einbau und Resonanzerscheinungen weniger kritisch.

**Funk-Entstörfilter**

Aus verschiedenen Gründen kann es vorteilhaft sein, die jeweils notwendigen Kondensatoren und Drosseln zu Funk-Entstörfiltern zusammenzufassen. Außer einfacherer Montage und Verdrahtung für die Anwender ist für den Hersteller die Möglichkeit gegeben, den Aufbau HF-technisch optimal zu gestalten. Neben den Nenndaten kann die Einfügungsdämpfung bezogen auf einen bestimmten Wellenwiderstand als Maß für die Entstörwirkung angegeben werden.

Wie bei Drosseln kann auch bei Funk-Entstörfiltern nur die Einfügungsdämpfung im Prinzip ähnlich aufgebauter Einheiten miteinander verglichen werden. Die tatsächlich erzielte Absenkung der Störspannung hängt auch von der Störquelle ab.

Obwohl die Festlegung einer vorschriftsmäßigen Entstörbeschaltung immer Messungen am Störer erfordert, sind die Messungen an den Bauelementen gleichermaßen wichtig und notwendig. Nur bei Kenntnis des Hochfrequenz-Verhaltens der einzelnen Komponenten unter den verschiedenen Betriebsbedingungen ist die Optimierung einer Entstöranordnung möglich, die im gesamten Frequenzbereich und unter allen jeweils auftretenden Betriebsbedingungen den praktischen Erfordernissen und gesetzlichen Bestimmungen gerecht wird.

Egon Thiel

# Dickschichtwiderstände bei Hochspannung

## 1. Einleitung

Eine Hochspannungsdauerbelastung ist bei Widerständen wegen der Leistung meist mit hohen Widerstandswerten verbunden. Da die Widerstandslänge und damit der Widerstandswert nicht unbeschränkt vergrößert werden kann, muß sowohl mit höheren Flächenwiderständen als auch mit höheren Feldstärken gearbeitet werden. Der Flächenwiderstand, d. h. der Widerstand einer quadratischen Widerstandsschicht kann durch eine dünnere Widerstandsschicht erhöht werden. Dies führt jedoch bei Kohleschichten und bei Metallschichten zu Schwierigkeiten. Insbesondere stören dabei die stärker werdenden Halbleitereigenschaften und die Empfindlichkeit auf Fehler, z. B. Rillen, des Trägermaterials. Diese Probleme können mit der Dickschichttechnik einfach bewältigt werden. Untersucht werden mußte jedoch ihre grundsätzliche Eignung für den Einsatz bei hohen Spannungen.

## 2. Impulsbelastbarkeit

Um einen groben Überblick über die Spannungsfestigkeit der Widerstände zu gewinnen, wurde deren Impulsfestigkeit geprüft. Das Verfahren basiert auf dem neu herausgegebenen Entwurf von DIN 41 850, Blatt 4 — Beurteilung von Widerstandspasten —. Dabei wird über einen Widerstand der Abmessung 1 x 1 mm ein Kondensator von 0,1 µF periodisch 10mal entladen und die Spannung nach der E 12-Reihe gesteigert.

Diese Untersuchungsmethode hat verschiedene Vorzüge

a) innerhalb kurzer Zeit kann man Ergebnisse erhalten

b) es sind keine teueren Einrichtungen nötig

c) die auf den Widerstand gegebene Energie ist unabhängig vom Widerstandswert

d) die Änderung der Widerstände ist nach 10 Impulsen nur noch gering (siehe auch [1])

e) die Prüfmethode gibt Auskunft über Größenordnung und Richtung der Widerstandsabweichung, über den Ausfallmechanismus und die schwächste Stelle im Widerstand.

Die in die engere Wahl genommene Widerstandspastenserie wurde nach diesen Verfahren überprüft. Das Ergebnis ist in Abb. 1 dargestellt. Alle Widerstände brannten am Übergang zwischen Widerstand und Leiterbahn durch. Die Tatsache, daß Widerstände mit niedrigen Flächenwiderständen bei niedrigeren Spannungen ausfallen als Widerstände mit höheren Flächenwiderständen könnte auf thermische Effekte zurückzuführen sein. Da bei niedrigen Widerstandswerten die Entladezeit sehr kurz ist, entsteht vermutlich in der Widerstandsschicht eine höhere Temperaturspitze, bevor das Substrat die Wärme abführen kann.

◀ Funk-Entstörfilter

Erschienen in der Zeitschrift
Funkschau

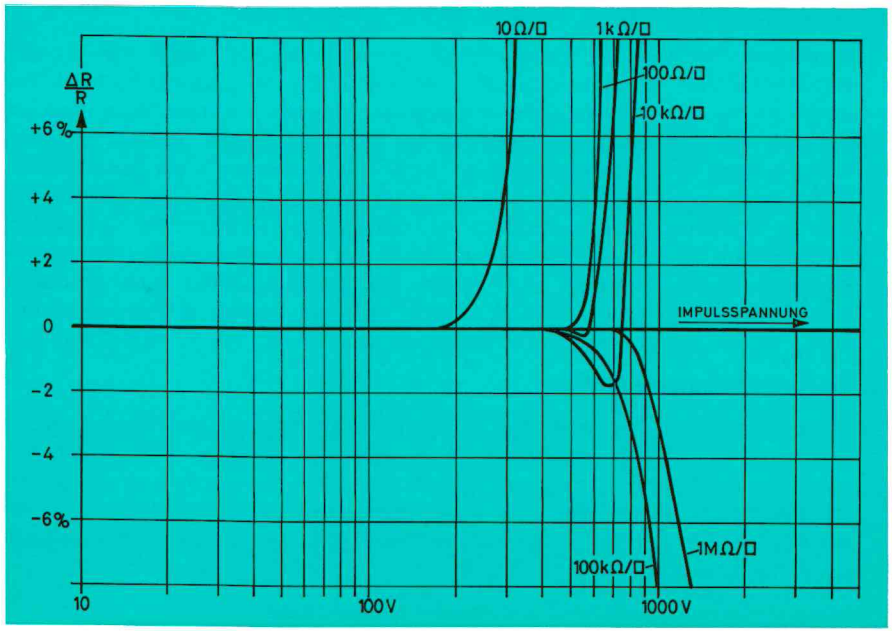



Abb. 1
Änderung $\frac{\Delta R}{R}$ von Dickschichtwiderständen der Abmessung 1x1 mm² nach zehnmaliger Entladung eines Kondensators von 0,1 µF über den Widerstand. Die Spannung wurde nach der E 12-Reihe erhöht.

Bei niedrigen Spannungen lag die Abweichung der Widerstände höchstens bei einigen zehntel Prozent. Bevor die Widerstände durchbrannten, wurden die Widerstandswerte kleiner. Diese negative Abweichung war bei Flächenwiderständen $\leqq$100 Ω/□ kaum zu bemerken, lag zum Teil bei 100 kΩ/□ über 8% und bei 1 MΩ/□ sogar über 30%.

Die ganzen Erscheinungen lassen sich mit dem Modell von Olivei [2] gut erklären. Danach bilden die leitenden Teilchen in der Glasmatrix leitende Ketten von einem Anschluß zum anderen. Diese Ketten enden vor allem bei höheren Flächenwiderständen zum Teil blind oder sie sind nur in schwachem Kontakt mit einer anderen Kette. Bei einem bestimmten Strom durch die Kette verschweißen die Teilchen dieser schwachen Kontakte. Dadurch wird der Widerstandswert vermindert. Damit wird das Verhalten bei hohen Flächenwiderständen erklärbar. Wird jedoch durch die Stromwärme die Temperatur der Teilchen so hoch, daß auch benachbarte Ketten beeinflußt werden — und auch diese überhitzt werden, so führt das auch hier wiederum zur Zerstörung des Widerstandes. Diese Zerstörung findet also bei einer großen Dichte von leitenden Teilchen, also bei niedrigen Flächenwiderständen, früher statt.

## 3. Spannungsabhängigkeit der Widerstände

Die Nichtlinearität der Widerstände wird in Europa überwiegend durch die Klirrdämpfung gemessen. Bei den im Handel erhältlichen Geräten liegt die maximale Belastbarkeit der Widerstände bei ca. 1 W. Feldstärken von 100 V/mm sind aus diesem Grunde erst bei einem Flächenwiderstand von 10 kΩ/□ erreichbar.

Berechnet man aus der Klirrdämpfung die Widerstandsänderung [3] so ergeben sich bis zu 10 kΩ/□ praktisch Gerade im doppelt logarithmischen Maßstab (siehe Abb. 2). Dies ist bei höheren Flächenwiderständen nicht mehr der Fall. Steigert man hier die Meßspannung D, so steigt die EMK der dritten Oberwelle $E_3$ nicht kontinuierlich mit an, sondern durchläuft bei einer bestimmten Spannung ein kleines Minimum. Hält man die Meßspannung D einige Zeit (ca. 1 min.) in der Nähe dieser Spannung, so vertieft sich das Minimum allmählich. Eine derartige Kurve ist in Abb. 3 zu sehen. Hält man die Meßspannung einige Zeit über der Spannung, die ein Minimum von $E_3$ erzeugt, so ändert sich die Klirrdämpfung und ergibt bei einer zweiten Messung eine andere Kurve. Rückmuster des Pasten-

Abb. 2
Abhängigkeit des Widerstandes von der Feldstärke bei $R_F$=10 kΩ/□, berechnet aus der Klirrdämpfung.

Abb. 3
Abhängigkeit des Widerstandes von der Spannung bei $R_F$=100 kΩ/□, berechnet aus der Klirrdämpfung (L=B=1 mm).

Abb. 4
Abhängigkeit des Widerstandes von der Spannung $R_F$=1MΩ/□, berechnet aus Klirrdämpfung und Brückenmessung

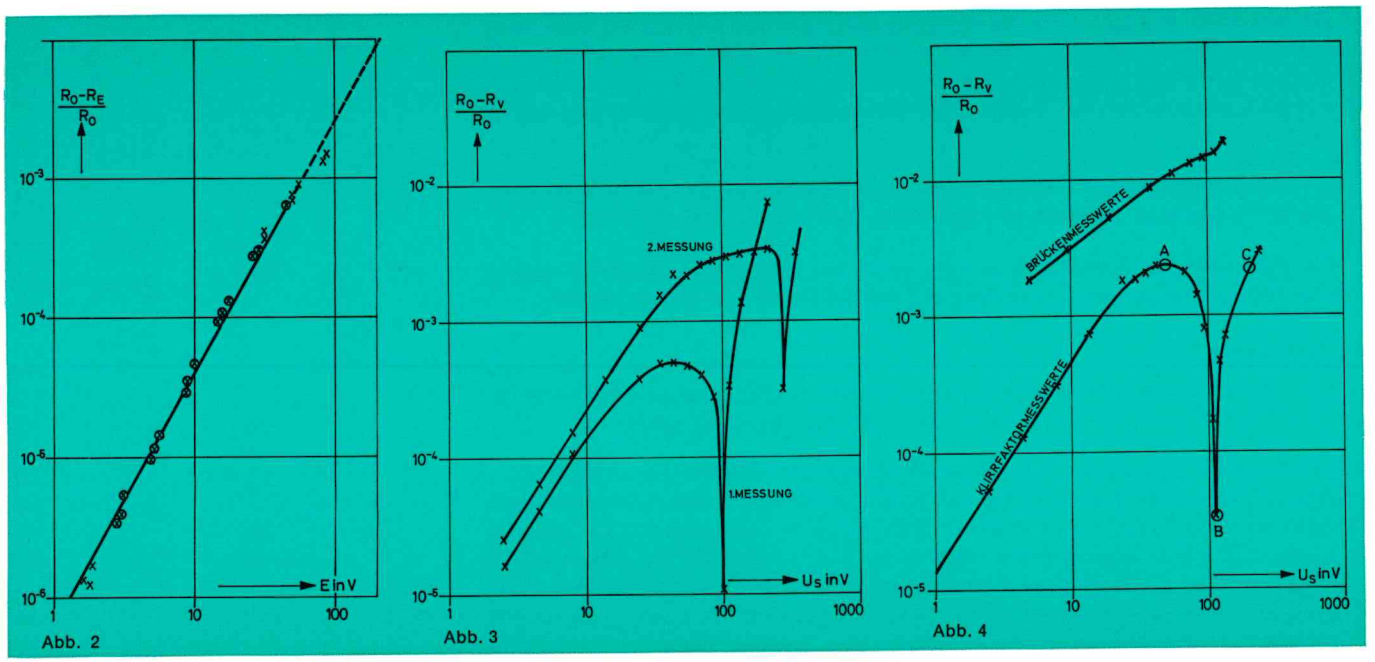



Abb. 2 Abb. 3 Abb. 4

herstellers verhielten sich praktisch gleich. Zur Klärung dieses Effektes wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Zunächst wurde bei einem höheren Flächenwiderstand der gleiche Effekt festgestellt (Abb. 4) und, da sich bei der Messung die Klirrdämpfung kaum änderte, die Widerstandsabweichung auch mit der Brücke gemessen. Überraschenderweise ergaben sich hier im Gegensatz zu früheren Messungen [3] beträchtliche Unterschiede. Auch ein Minimum der Widerstandsabweichung läßt sich bei der Gleichspannungsmessung nicht nachweisen. Grundsätzlich sind also die Messungen der Nichtlinearität bei 10 kHz nicht auf Messungen bei Gleichspannungen übertragbar. Auffallend bei der Brückenmessung war, daß sich der Widerstand bei der Messung so verhielt, als wäre ihm eine Kapazität der Größenordnung 1000 pF parallelgeschaltet.

Um einen näheren Aufschluß über das Verhalten der Widerstände zu erhalten, wurden diese mit einer der Scheitelspannung in den Punkten A, B und C in Abb. 4 entsprechenden Gleichspannung belastet. Nach 100 Stunden lag die Abweichung für $R_F = 90$ kΩ/□ bei ca. —0,5‰ bei Feldstärken zwischen 48 und 86 V/mm, während sie für $R_F = 600$ kΩ/□ bei +1 bis 2‰ bei Feldstärken zwischen 100 und 280 V/mm lag. Bei 280 V/mm mit $R_F = 600$ kΩ/□ war die Abweichung nach einer Stunde zunächst +6‰ und nahm dann allmählich ab. Alle anderen Belastungen ergaben weit kleinere Abweichungen. Das anormale Verhalten der Klirrdämpfungsmessung hat also auf die Stabilität der Widerstände bei Gleichspannung keinen Einfluß.

Die Abweichung für $R_F = 600$ kΩ/□ bei 10 kHz und einer Spitzenfeldstärke von 280 V/mm lag nach einer Stunde Belastung ebenfalls nur bei ca. +1‰.

Für die praktische Anwendung besteht somit bei kurzzeitiger Belastung nahezu kein Unterschied zwischen Belastung mit Wechselstrom und Gleichspannung.

## 4. Anwendungen

Für Dickschichtwiderstände ergeben sich auf dem Hochspannungssektor verschiedene Anwendungen. In Abb. 5 sind einige der wichtigsten zu sehen.

Der mit A bezeichnete Widerstand ist ein Entladewiderstand für Farbfernsehbildröhren. In den USA ist ein derartiger sogenannter 'voltage bleeder' vorgeschrieben. Während früher viele normale Widerstände in Serie geschaltet wurden, werden in den USA heute praktisch nur noch Dickschichtwiderstände für diesen Zweck eingesetzt: Das größte Problem hierbei bereitet die Forderung, daß die Umhüllung nicht brennbar sein darf und der Widerstand sprühfest ist. Letztere Forderung bedingt bei einer Spannung von ca. 30 kV eine gewisse Dicke der Umhüllung,

die bei Wahl einer ungeeigneten Umhüllung vor allem bei Temperaturwechseln zu Schwierigkeiten führt.

Diese Gefahr besteht nicht bei Widerständen bis zu 10 kV (B und C in Abb. 5). Hier genügt ein einfacher Tauchvorgang, um die Widerstände ausreichend sprühfest zu machen. Ein größerer Anwendungsbereich für derartige Widerstände sind Vorwiderstände zum Fokussierungspotentiometer.

Wird zur Gewinnung der Fokussierungsspannung aus der Hochspannungskaskade kein hoher Strom entnommen, genügt der Abgriff an einem hochohmigen VDR-Stab, um die Fokussierungsspannung zu gewinnen. Eine entsprechende Bauform liegt in Dickschichtausführungen vor. Die bisherigen Untersuchungen ergaben Vorteile gegenüber der VDR-Stab-Ausführung.

Die verwendete Widerstandspaste ergibt bei mittleren und niedrigen Flächenwiderständen bei voller Belastung auch nach 10 000 Stunden Widerstandsänderungen $<1\%$. Auch bei sehr hohen Widerstandswerten kann bei 1000 Stunden Belastung mit Änderungen $<5\%$ gerechnet werden. Diese Änderung stört in den wenigsten Fällen, da es z. B. bei Spannungsteilern (Fokussierungsregler) nur auf das Widerstandsverhältnis ankommt, das durch die integrierte Herstellung der Widerstände bei Belastungen nur wenig verändert wird.

Der hohe Glasanteil bei den Widerständen gibt diesen außerdem einen ausgezeichneten Schutz bei Feuchte.

## 5. Zusammenfassung

Dickschichtwiderstände bieten bei hohen Spannungen bei den bisher bekannten Anwendungen Vorteile.

Diese Vorteile sind vor allem in der Baugröße, in der Stabilität bei klimatischen und elektrischen Prüfungen und in der Zuverlässigkeit bzw. Robustheit begründet. Da die hier besprochenen Pasten für die Anwendung bei hohen Spannungen noch nicht lange auf dem Markt zur Verfügung stehen, dürfte sowohl auf dem Pastensektor als auch bei deren Anwendung und Verarbeitung in der nächsten Zeit noch mit weiteren Verbesserungen zu rechnen sein.

**Literaturhinweise:**


[1] R. P. Himmel, 1971 Elektronik Praxis Heft Nr. 4
[2] A. Olivei, 1971 Electronic Components Conference — S. 504 - 512
[3] E. Thiel, 1973 Electronic Components Conference — S. 140 - 152

Erwin Effenberger
Adolf Manhart

# Wirtschaftliche Betrachtungen zur konventionellen Leiterplattentechnik - Dickschichttechnik - Monolithisch integrierte Technik

Bei der Neukonzeption einer elektronischen Schaltung wird sich jeder Entwickler mit der Frage zu beschäftigen haben, welches Bauelement bzw. Baugruppe die günstigste Lösung im schaltungstechnischen Aufbau, in der Wirtschaftlichkeit und in den technischen Anforderungen ergibt. Die Beantwortung dieser Frage wird in zunehmendem Maße durch wirtschaftliche Aspekte geprägt, da eine Vielzahl von qualitativ fast gleichwertigen Produkten erhältlich sind.

Um ein Schaltungskonzept zu realisieren gibt es folgende Möglichkeiten: Die konventionelle Leiterplattentechnik — Dick- bzw. Dünnfilmtechnik und die Technik der monolithischen bzw. hybriden IC's bzw. deren Kombinationen.

Im folgenden wird versucht, die wirtschaftlichen Kriterien aufzuzeigen, die die Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl dieser Techniken liefern. Bei den weiteren Betrachtungen ist die Dünnfilmtechnik ausgeklammert, da sie sich in einer Phase befindet, deren Bedeutung noch nicht klar abzusehen ist.

## Leiterplattentechnik

Auf eine kupferkaschierte Hartfaserplatte - vorwiegend Pertinax oder glasfaserverstärktes Epoxydharz - wird durch ein phototechnisches Verfahren die Leiterbahnkonfiguration hergestellt. Die Bohrungen zur Aufnahme der Anschlußdrähte der diskreten Bauelemente werden meistens auf numerisch gesteuerten Bohrwerken ausgeführt. Die Leiterplatte wird anschließend mit den erforderlichen Bauelementen wie Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten und Halbleitern bestückt. Berechnet man die Kosten für eine solche Einheit, so sind neben den Gestehungskosten für die Leiterplatte und dem Einkaufswert der diskreten Bauelemente auch die Belastungen für die Lagerhaltung, die Lagerentnahme, die Stichprobenprüfung, die Montagebereitstellung, die Montage, die anschließenden Prüfkosten, und, last not least, die nicht zu unterschätzenden Service-Kosten zu berücksichtigen. Da heute die aktiven wie auch passiven Bauelemente zu recht günstigen Preisen zu erhalten sind, beeinflussen die angeführten Faktoren hauptsächlich den Preis des Endprodukts. Eine Wertanalyse eines namhaften Herstellers der Entertainmentindustrie brachte zu Tage, daß z. B. ein Widerstand mit einem Einkaufspreis von 2,3 Pfg. unter Berücksichtigung der o. a. „Preisparameter" im fertigen Gerät dann 9,6 Pfg. kostet. Ähnliche Relationen bestehen auch für alle anderen diskreten Bauelemente.

Es erweist sich demnach als zweckmäßig, Überlegungen anzustellen, gewisse Funktionsgruppen einer elektronischen Schaltung durch andere Techniken zu ersetzen, die solche Kosten verhindern oder zumindest vermindern, wie dies bereits in der FFS-Studie „Color 77" in eindrucksvoller Weise demonstriert wurde.

Erschienen im
Taschenbuch der Unterhaltungs-Elektronik

Solche Technologien sind:

## Dickschichttechnik

Bei dieser Technik werden Leiterbahnen, Widerstands-, Isolier- und Dielektrikumsschichten mittels Siebdruckverfahren auf ein Trägermaterial aus Keramik aufgedruckt und in nachfolgenden Einbrennprozessen mit diesem fixiert. Werden die so hergestellten Widerstände mit geeigneten aktiven und passiven Bauelementen durch Löt-, Schweiß- oder Klebeverfahren verbunden, erhält man komplette Funktionseinheiten, sogenannte Hybridschaltungen.

Zum Durchbruch gelang diese Technik erstmals im elektronischen Rechnerbau bei IBM, als man diskret aufgebaute Analog- und Digitalbausteine durch diese Technik ersetzte. Man sparte wesentlich an Montagezeit und konnte durch die Kleinbauweise und das geringe Gewicht der Dickschichtschaltung auch den äußeren Umfang der Anlagen beträchtlich reduzieren. Ein weiterer Vorteil lag bei dieser Technik in der damit erreichbaren höheren Qualität und dem einfacheren Service.

Im Wettbewerb zur Dickschichttechnik liegt die Technik der monolithischen IC's, die den größten Anteil am mikroelektronischen Geschäft aufweisen. Für typische Anwendungen bietet die Dickschichttechnik jedoch eine Reihe wirtschaftlicher und technischer Vorteile, insbesondere dann, wenn spezielle Schaltungskonzepte bei mittleren und kleineren Stückzahlen zur Debatte stehen und höhere Leistungen zu verarbeiten sind.

## Technik der monolithisch integrierten Schaltungen

Sie stellt den neuesten Schritt in der Halbleitertechnik dar, wobei grundsätzlich die gleichen Materialien und Verfahren angewendet werden, wie sie bei der Fertigung von Planartransistoren üblich sind. Die notwendigen Schaltungselemente werden auf einem Siliziumscheibchen ausgebildet, indem geeignete Dotierungselemente an verschiedenen Stellen der Siliziumscheibe mittels Thermodiffusion placiert werden. Die Verbindungen der einzelnen Schaltelemente erfolgt durch Aufdampfen von leitfähigem Material zwischen den Verbindungspunkten, während erforderliche Isolationen durch Oxydbildung des Siliziums zu erreichen sind.

Alle Herstellungsschritte werden auf einer Siliziumscheibe vom ∅ 40—70 mm ausgeführt, wobei dieses Plättchen die gleiche Schaltungskonfiguration in großer Anzahl erhält. Das bedeutet, daß bei einer typischen Abmessung eines integrierten Schaltplättchens von 1,3 x 1,3 mm eine einzige Siliziumscheibe von 40 mm ∅ etwa 500 Schaltungen enthält, die gleichzeitig hergestellt werden.

Die beschriebene Technologie ist zwar äußerst aufwendig und erfordert beträchtliche

Kosten, bis die erste Schaltung entsteht, doch lassen sich Funktionseinheiten in der Größenordnung von einer Million und darüber sehr rationell herstellen und damit auch für den Anwender kostengünstig erwerben.

## Kostenanalyse

Ein allgemeiner Kostenvergleich zwischen Schaltungen in konventioneller Printplattentechnik, Dickschichttechnik und Technik der monolithischen IC's ist schwierig, da wegen der sich ständig ändernden Kostenfaktoren von Firma zu Firma kein festes Gesamtschema zugrunde gelegt werden kann.

Es ist deshalb sinnvoll, eine gesamte Schaltungskonzeption in einzelne Schaltgruppen aufzuteilen und zu untersuchen, welche Art der Technologie sowohl in technischer als auch in wirtschaftlcher Hinsicht am zweckmäßigsten erscheint.

Die wirtschaftlichen Faktoren werden dabei durch folgende Bewertungschemas bestimmt:

Gesamtkosten der Schaltung in konventioneller Leiterplattentechnik ergeben sich durch:

$$\Sigma_k = P_k + A_k + B_k + G_k + M_k + F_k + I_k.$$

Gesamtkosten der Schaltung bei Ausführung in Dickschichttechnik:

$$\Sigma_d = P_d + A_d + B_d + G_d + M_d + F_d + I_d.$$

Gesamtkosten der Schaltung bei einer Ausführung mit monolithisch integrierten Bauteilen:

$$\Sigma_i = P_i + A_i + B_i + G_i + M_i + F_i + I_i.$$

Dabei bedeuten:

$P_k$ : Gesamtkosten der diskreten Bauteile, die von der Dickschichtschaltung bzw. vom IC ersetzt werden können

$P_d$ : Stückkosten der Dickschichtschaltung

$P_i$ : Stückkosten der monolithisch integrierten Schaltung

$A_k$ : Schaltkosten beim Einsatz diskreter Bauteile (z. B. Arbeitskosten)

$A_d$ : Schaltungskosten beim Einsatz von Dickschicht

$A_i$ : Schaltungskosten beim Einsatz von monolithisch integrierten Bauteilen

$B_k$ : Bestell- und Anschaffungskosten diskreter Bauteile

$B_d$ : Bestell- und Anschaffungskosten von Dickschichtschaltungen (darunter fallen die an den Hersteller zu bezahlenden Entwicklungskosten und Kosten für Musteranfertigungen)

$B_i$ : Bestell- und Anschaffungskosten für monolithisch integrierte Schaltungen (darunter fallen ebenfalls wieder etwaige Entwicklungskosten sowie Kosten für Musteranfertigungen)

$G_k$ : Ausfallkosten gefertigter Produkte mit diskreten Bauteilen

$G_d$ : Ausfallkosten gefertigter Produkte, die in Dickschicht aufgebaut sind

$G_i$ : Ausfallkosten gefertigter Produkte, die mit monolithischen IC's aufgebaut sind

$M_k$ : Kosten, die durch Freigabe, Kontrolle, Tests und Lagerungen der diskreten Bauteile entstehen.

$M_d$ : Kosten, die durch Freigabe, Kontrolle, Test und Lagerung der Dickschichtbausteine entstehen

$M_i$ : Kosten, die durch Freigabe, Kontrolle, Tests und Lagerung der monolithisch integrierten Schaltungen entstehen

$F_k$ : Platzkosten der Schaltung beim Einsatz diskreter Bauteile

$F_d$ : Platzkosten der Schaltung beim Einsatz von Dickschichtbausteinen

$F_i$ : Platzkosten der Schaltung beim Einsatz von IC's

$I_k$ : Kosten für Sondereinrichtungen, Werkzeuge, Testeinrichtungen beim Einsatz von diskreten Bauteilen

$I_d$ : Kosten für Sondereinrichtungen, Werkzeuge, Testeinrichtungen beim Einsatz von Dickschichtbauteilen

$I_i$ : Kosten für Sondereinrichtungen, Werkzeuge, Testeinrichtungen beim Einsatz von IC's.

Die Einzelkosten $P_k$, $P_d$ und $P_i$ sind durch einen Preisvergleich der einzelnen Produkte in Abhängigkeit der Stückzahl relativ einfach zu ermitteln.

Vergleicht man die Schaltkosten $A_k$, $A_d$ und $A_i$, so sind sie beim Einsatz von diskreten Bauelementen am höchsten, da sie im gesamten Umfang vom Gerätehersteller zu tragen sind. Bei Verwendung von Dichschichtschaltungen bzw. monolithischen IC's werden sie zum größten Teil auf den zuständigen Lieferanten übertragen.

Die Bestell- und Anschaffungskosten $B_i$, $B_d$ und $B_k$ unterscheiden sich je nach Technologie.

Von A. Lewicki wurde ein Diagramm veröffentlicht, das die diesbezüglichen Kosten einer Schaltung höherer Komplexität in Dickschichttechnik um den 5-fachen und beim Aufbau als monolithischer IC um den 100-fachen Wert gegenüber einer Ausführung in konventioneller Leiterplattentechnik ausweist. Dieses Kostenverhältnis ist sehr allgemein gehalten und kann je nach Anwendungsfall unter- bzw. überschritten werden.

Bezüglich der Kosten G, M und I sind keine allgemeinen Angaben möglich. Eine eindeutige Aussage darüber ist am besten durch eine werksinterne Wertanalyse zu ermitteln.

Die beschriebene Kostenstruktur enthält nicht die ständig auftretenden Servicekosten. Sie betrugen nach einer IEC-Mitteilung bei Verwendung von Dickschichtschaltungen bzw. einer Ausführung als monolithischer IC nur etwa ¼ der Kosten für diskreten Aufbau.

Berücksichtigt man die angeführten Einzelkosten der besprochenen Technologien, so wird die Herstellung einer Schaltung bei kleineren Stückzahlen sicherlich in Printplattentechnik am vorteilhaftesten sein, da die Seriengrundkosten relativ gering zu halten sind. Bei Erfüllung der technischen Voraussetzungen – wie dickschichtfreundliche Bauelemente mit billigen Kontaktierungstechniken – wird sich bei mittleren Stückzahlen, wo speziell „maßgeschneiderte" Baugruppen verlangt werden, die Dickschichttechnik am zweckmäßigsten erweisen.

Die Neuentwicklung einer monolithischen integrierten Schaltung erfordert beträchtliche finanzielle und zeitliche Aufwendungen, bis die erste funktionsfähige Schaltung entsteht. Dafür liegen die Proportionalkosten je Stück in der Großserie, bei den monolithischen IC's um eine Größenordnung niedriger als in hybrider Dickschichtausführung bzw. konventioneller Leiterplattentechnik.

Ist ein monolithischer IC als Standardschaltung am Markt erhältlich, so kann das Bauteil auch bei kleineren Bestellzahlen recht kostengünstig und kurzfristig erworben werden.

Die Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen den wirtschaftlichen Stückzahlen, für die sich eine Fertigung in den einzelnen Techniken lohnt.

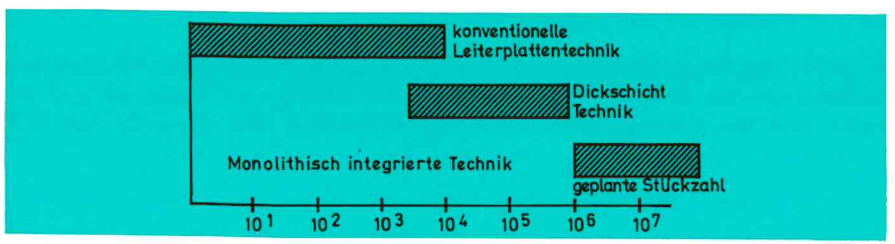



Abb. 1

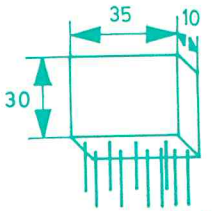


Abb. 3

## Schaltungsbeispiel

Um den Zusammenhang zwischen fortlaufenden Stückkosten, Entwicklungskosten und Anlauf- bzw. Beschaffungszeitraum besser zu ersehen, sei hier als Schaltungsbeispiel ein einfaches NAND/NOR-Gatter diskutiert. Bei dieser Schaltung sind die technischen Voraussetzungen erfüllt, um sie in konventioneller Leiterplattentechnik, in Dickschichttechnik oder auch als monolithisch integrierten Baustein auszuführen.

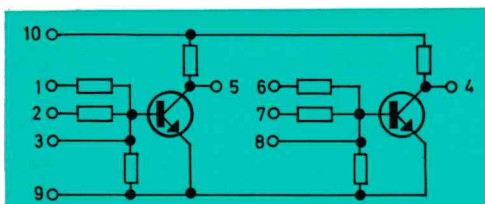
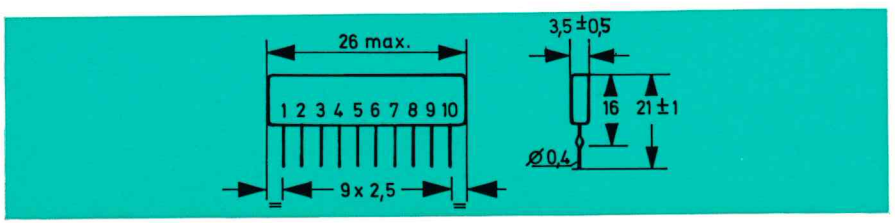


Abbildung 2
zeigt den Schaltungsaufbau

Wird diese Schaltung in konventioneller Leiterplattentechnik aufgebaut und die bestückte Leiterplatte in einem Makrolonbecher vergossen, dann erhält man einen Modulbaustein nach Abb. 3. Die wirtschaftlich günstigste Fertigungsstückzahl liegt in der Größenordnung von 1000—5000 Stück. Für einen solchen Modul sind an Entwicklungskosten 500,— bis 700,— DM bei einem Einzelstückpreis von DM 4,50 bis 5,— anzusetzen. Die Anlaufzeit, bis die ersten Serienteile verfügbar sind, ist relativ gering und beträgt etwa 3—4 Monate.

Wird die gleiche Schaltung in Dickfilmbauweise hergestellt, so erhält man einen Baustein nach Abb. 4.




Bei einer voraussichtlichen Abnahmemenge von 20 000 bis 50 000 Stück bewegen sich die Einzelkosten des Bausteins zwischen DM 3,— bis 3,50. Die Höhe der Entwicklungskosten kann mit DM 2000,— bis DM 3000,— angesetzt werden. Der Zeitraum zwischen der ersten Phase der Entwicklung und der Auslieferung der ersten Bausteine aus der Serie beträgt zwischen 6—12 Monate.

Bei einer Ausführung als monolithisch integrierter Baustein im Dual-inline-Gehäuse

nach Abb. 5 betragen die Entwicklungskosten bei einer Bedarfsmenge von 2 Mill. bis 5 Mill. Stück DM 120.000,— bis DM 200.000,—. Der Stückpreis liegt in der Größenordnung von DM 0,85 bis DM 1,—. Der zeitliche Aufwand, bis die erste funktionsfähige Schaltung entsteht, kann bis zu 2 Jahren betragen.

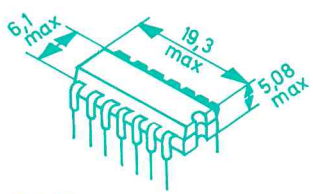


Abb. 5

Dieses Beispiel zeigt, daß es in vielen Fällen möglich ist, eine Schaltung in mehreren Technologien zu realisieren, wobei zur Ermittlung der kostengünstigsten Variante als hauptsächliche Einflußfaktoren die Bedarfsmenge, die Bestell- und Anschaffungskosten und die Kosten für Sondereinrichtungen sowie der erforderliche Zeitaufwand für Entwicklung und Erstellung von Fertigungseinrichtungen ins Kalkül zu ziehen sind.

In der Praxis wird bei der Neuentwicklung von Geräten sicherlich nicht nur eine Technik dominierend sein, sondern die beschriebenen Technologien werden sich gegenseitig ergänzen. Der Trend zu immer komplexeren Systemen führt dann zu Funktionsbaugruppen in Dickschicht oder monolithisch integrierter Technik, die durch konventionelle Leiterplattentechnik miteinander verknüpft werden. Für den Gerätehersteller bietet dies den Vorteil, daß er besonders bei Verwendung integrierter Schaltkreise auf ein gewisses Reservoir von bereits existierenden Grundschaltungen zurückgreifen kann bzw. die Entwicklung und Fertigung der Funktionsbaugruppen unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Gegebenheiten dem Bauelementehersteller überläßt.

**Literaturhinweise:**

TTL-Applikationsbuch TEXAS INSTRUMENTS Deutschland (1972)

A. Lewicki
Neue Entwicklungseinrichtungen in der Dickfilmtechnik
Zeitschrift „Elektroniker" Heft 2/70

K. Wunderlich
Technische Informationsschrift DITRATHERM Nr. 5/70
FIRMENGRUPPE ROEDERSTEIN

G. Ziegler, R Dangschat, H. Pelka
"Color 77" – Farbfernsehempfängertechnik aus der Sicht des Bauelemente-Herstellers.
Zeitschrift "Funk-Technik" Heft 12/73

V. Degenhart / P. Möbius

# Untersuchung von Aluminium-oberflächenstrukturen und von Metalloxiden mit dielektrischen Methoden im Tieffrequenzgebiet

Erschienen in der Zeitschrift
Metalloberfläche
Heft 5/73

## 1. Einleitung

Natürliche und künstliche Oxidschichten sowie die Struktur der Oberfläche des Muttermetalls beeinflussen unter anderem a) das Korrosionsverhalten b) die Bearbeitbarkeit wie Schweißen, Löten, Lackieren c) die elektrische Kontaktqualität von Metallen.

In der Elektrotechnik dienen anodisch erzeugte Oxidschichten auf Aluminium oder Tantal z. B. als isolierende Dielektrikas in Elektrolytkondensatoren.

Wegen diesen weitgehenden Interessen an Oxidschichten auf Metallen werden diese mit zum Teil sehr aufwendigen Methoden untersucht: Rasterelektronenmikroskopie, Röntgen und - Elektronenbeugung, Differentialthermoanalyse.

Es soll dargelegt werden, daß zusätzliche Informationen über die Struktur der Oxidschicht bzw. der Metalloberfläche durch dielektrische Untersuchungen gewonnen werden können.

Hierzu wird die Eigenschaft des Oxides als isolierendes Dielektrikum ausgenutzt. Die für die dielektrische Untersuchung notwendigen Kondensatorbeläge werden einerseits vom Muttermetall selbst und andererseits von einem flüssigen Elektrolyten gebildet.

Von diesem Kondensator-System (Muttermetall — gewachsenes Oxid — Elektrolyt) interessiert in dieser Arbeit der Imaginäranteil des Wechselstromwiderstandes, d. h. die Kapazität als Funktion der Frequenz.

## 2. Versuchsdurchführung

### 2.1. Erzeugung der Oxidschicht

Die Oxidschicht auf der glatten bzw. rauhen Reinstaluminiumfolie wird anodisch in einer 90°C warmen Borsäure-Borax-Lösung aufgebracht. Die angelegte Spannung beträgt 22 V, wobei zu Beginn der elektrolytischen Oxidation ca. 10 mA/cm² fließen. Nach Ausbildung der Oxidschicht fällt der Strom unter 0,5 mA/cm².

Es bildet sich also eine elektrische isolierende Sperroxidschicht aus. Die Dicke dieser Schicht ist proportional der angelegten Spannung:

$$1{,}4 \cdot 10^{-3} \frac{\mu m}{Volt} \cdot 22\ Volt = 0{,}031\ \mu m$$ Oxidschichtdicke [1].

### 2.2. Der Sandwich-Kondensator

Entsprechend Abb. 1 wird die anodisch oxidierte Aluminiumfolie, die die eine Elektrode mit Dielektrikum darstellt, mit einem flüssigen Elektrolyten zu einem Kon-

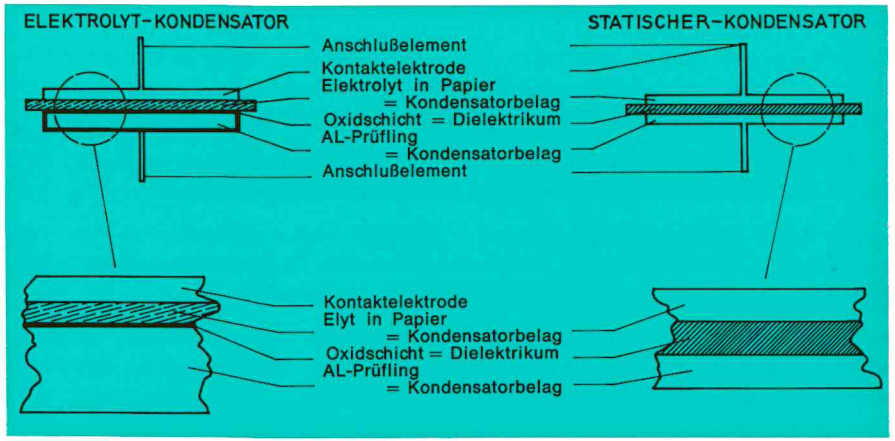



Abb. 1
Al-Prüfling mit Oxidschicht als Kondensatorelektrode mit Dielektrikum

densator ergänzt. Der Elektrolyt als zweite Elektrode hat den Vorteil, daß er in die feine Oberflächenstruktur des oxidierten Muttermetalls eindringt und auch die Poren-Kapazitäten ankoppelt.

Um die elektrolytbedingten Vorwiderstände klein zu halten, wird der Elektrolyt in sehr dünnem (ca 50 µm) Papier offener Struktur (spez. Raumgewicht ca. 0,5 g/cm³) aufgesogen und an der der Meßelektrode abgewandten Seite mit einer zusätzlichen Metallfolie kontaktiert.

Der Elektrolyt besteht aus einem Gemisch von Glykol und Dimethylformamid, in dem Ammonborate und Anionenkomplexe aus einem Glykol-Borsäureester als Ionogene wirken. Die Leitfähigkeit des hier benutzten Elektrolyten beträgt 200 Ωcm bei Raumtemperatur und 6000 Ωcm bei −40°C.

### 2.3. Messung der Kapazität zwischen 0,025 Hz bis 1000 Hz

Im Frequenz-Bereich zwischen 20 und 1000 Hz wird mit Brücken gemessen, die sowohl den Imaginäranteil wie den Realanteil des Wechselstromwiderstandes zu erfassen gestatten.

Unter 20 Hz stehen keine Meßbrücken zur Verfügung. Deshalb wird mit dem Zeitkonstantenmeßgerät [2] nur die Kapazität, in Funktion der Entladezeit $\tau_E$ gemessen. Der Entladezeit $\tau_E$ wird eine Frequenz zugeordnet [3]. (Entsprechend den Vorstellungen über Relaxationszeiten von polaren Vorgängen in Dielektrikas bei Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes).

Folgende anschauliche Festlegung soll gelten

$$f = \frac{1}{4\,\tau_E} :$$

Durch den Faktor 4 wird berücksichtigt, daß die Entladungsdauer etwa ein viertel der Zeit einer periodischen Schwingung beträgt.

Bei der Kondensatorentladungsmethode wird der Prüfling eine vorgegebene Zeit $\tau_A$ aufgeladen. ($\tau_A$ etwa gleich $\tau_E$).

Bei der anschließenden Entladung wird der Widerstand so gewählt, daß bei Entladung auf den e-ten Teil der Aufladespannung die Entladezeit ($\tau_E$) etwa der Aufladezeit ($\tau_A$) entspricht.

Die Entladezeit $\tau_E$ ist direkt proportional der Kapazität $C_x$, da wegen

$$U = U_o e^{\frac{-\tau_E}{R_N C_x}} \text{ für } U = \frac{U_o}{e} \text{ (Volt)}$$

$$\tau_E = R_N C_x$$

gilt. Deshalb wird die Entladezeit auf $1^0/_{00}$ mit einem digitalen Zeitmesser erfaßt. Der Meßbereich des digitalen Zeitmessers läuft von 0,2 sec bis 10 sec d. h. von 1,25 Hz bis 0,025 Hz.

Der mit Beginn der Entladung startende Zeitmesser wird dann von einem als Null-Komparator arbeitenden Operationsverstärker gestoppt, wenn die Kondensatorspannung auf den e-ten Teil der Ausgangsspannung abgefallen ist. Im Null-Komparator wird hierbei laufend die Kondensatorspannung mit dem automatisch vom Gerät über eine Widerstandsteilung $\left(\frac{Ra + Rb}{Rb} = e\right)$ gebildeten e-ten Teil der Ausgangsspannung verglichen.

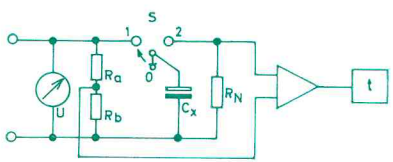



Abb. 2

Abb. 2. Kapazitäts-Meßgerät für Frequenzen unter 10 Hz (Zeitkonstantenmethode)

$$\frac{R_a + R_b}{R_o} = 2.718 = e$$

Die effektiven Schaltzeiten an den Kontakten 1 und 2 des Schalters „S“ waren bei den Versuchen von gleicher Dauer.

Abb. 3. Frequenzgang der Kapazität von Elektrolytkondensatoren aus Reinst-Aluminium-Folien mit unterschiedlicher Oberflächenstruktur.

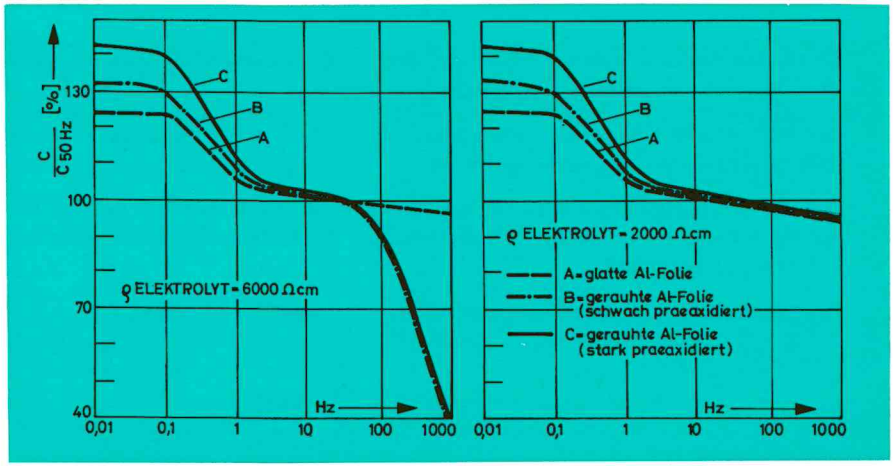



Abb. 3

Unterschiedliche Entladezeiten (d. h. Meßfrequenzen nach obiger Definition) werden durch Variation des Entladewiderstandes vorgewählt.

Die in folgendem Abschnitt gezeigte Tatsache, daß der Frequenzverlauf der Kapazität an der Überlappungsstelle der zwei unterschiedlichen Meßmethoden (über 20 Hz mit der Brückenmethode, unter 1,25 Hz mit der Kondensatorenladungsmethode) stetig ist, rechtfertigt die anschauliche Festlegung, daß einer Entladezeit eine Frequenz nach der Beziehung $f = \frac{1}{4\ \tau_E}$ zugeordnet wird.

## 3. Meßergebnisse

Es wurden anodisch gebildete 22 V-Oxidschichten auf

1. einer blanken Aluminium-Folie (A)
2. einer gerauhten Aluminium-Folie (B)
3. einer gerauhten Aluminium-Folie (C)

untersucht. Die gerauhten Folien B bzw. C unterscheiden sich nur hinsichtlich der Hydroxidschicht; diese ist bei der Folie C etwa doppelt so dick wie bei der Folie B. Die Rauhung sowie die anodisch gebildete Oxidschicht ist bei beiden Folien dieselbe.

Wie beschrieben wurden die Prüflinge mit elektrolytgetränktem Papier zu Kondensa-

toren verarbeitet und die Kapazität im oberen Frequenzbereich mit der Brücken- und im unteren Frequenzbereich mit der Kondensatorentladungsmethode gemessen.

In Abb. 3 sind die prozentualen Kapazitätswerte der drei Folientypen A, B und C bei einem spez. Elektrolytwiderstand von 200 Ωcm (Raumtemperatur) und 6000 Ωcm (−40°C) in Funktion der Meßfrequenz wiedergegeben.

Als Bezugspunkt wurde die 50 Hz-Kapazität zu 100% gewählt.

Im oberen Frequenzgebiet werden bei den rauhen Folien (B und C) bei Verwendung des Elektrolyten mit 6000 Ωcm eine starke Frequenzabhängigkeit der Kapazität, d. h. ein Dispersiongebiet, beobachtet.

Ein zweites stark ausgeprägtes Dispersiongebiet wird bei allen Folien (glatt und rauh) im Bereich der tiefen Frequenzen sowohl bei einem Elektrolytwiderstand von 200 Ωcm wie bei 6000 Ωcm gemessen.
Diese Dispersion ist bei den rauhen Folien größer als bei der glatten Folie. Doch unterscheiden sich in der Höhe der Dispersion im Tieffrequenzgebiet die beiden rauhen Folien trotz gleicher Ätzstruktur noch merklich. Dieser Unterschied kann nur bedingt sein durch eine Hydroxidbildung der geätzten Aluminium-Oberfläche einmal bei Raumtemperatur in deionisiertem Wasser (B), das anderemal durch verstärkte Hydroxidbildung im 65°C warmen deionisiertem Wasser (C).

Die der Hydratisierung anschließende anodische Oxidation ist in allen 3 Fällen gleich.

## 4. Diskussion der Meßergebnisse

### 4.1. Dispersion von rauhen Folien im oberen Frequenzbereich

Auf Grund der Dispersion der rauhen Folie mit dem Elektrolyten von 6000 Ωcm über 50 Hz könnte man, da nur der Imaginärteil des Widerstandes gemessen wird, zur Ansicht kommen, daß eine Änderung der Dielektrizitätskonstanten des Aluminiumoxides vorliegt. Eine Änderung der Dielektrizitätskonstante ist jedoch im Frequenzgebiet zwischen 50 und 1000 Hz theoretisch nicht zu erwarten. Darüber hinaus müßte dann auch die glatte Folie diese Änderung zeigen und der Elektrolytwiderstand dürfte nicht von Einfluß sein.

Viel wahrscheinlicher ist, daß die Kapazität innerhalb der sehr feinen Poren der rauhen Folie, die nur über den hochohmigen Elektrolyten von 6000 Ωcm angekoppelt ist, bei höheren Frequenzen mehr und mehr abgekoppelt wird. Es liegt daher nahe, eine Ätzpore entsprechend Abb. 4 als einen Kettenleiter aufzufassen [4].

Von Kettenleitern, bestehend aus R · C-Gliedern ist bekannt, daß die resultierende

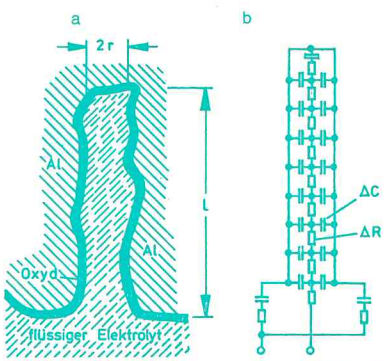



Abb. 4
a) Oxydierte elektrolytgefüllte Ätzpore
b) als Kettenleiter

Kapazität, frequenzabhängig ist. Vom Standpunkt der physikalischen Betrachtung, daß nämlich eine Dispersion die Änderung der Dielektrizitätskonstante anzeigt, handelt sich hier also um eine unechte Dispersion, da diese durch die Oberflächenstruktur hervorgerufen ist.

Eine Ätzpore hat eine gleichmäßige verteilte Flächenkapazität ($\xi$ ist die spez. Kapazität pro Flächeneinheit), die aufsummiert die Totalkapazität C ergibt, R ist der Widerstand des Elektrolyten von Porenanfang bis zum Porenende.

Sinngemäß kann dann als Zeitkonstante T der Ätzpore das Produkt

$$C_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma} = T \text{ (sec)}$$

definiert werden.

Die bei der jeweiligen Frequenz f wirksame Kapazität C gehorcht folgender Funktion:

$$C = C_{\Sigma} \frac{1}{\sqrt{f \cdot T}} \cdot \frac{\cos h\, 2\sqrt{f \cdot T} - \cos 2\sqrt{f \cdot T}}{\sin h\, 2\sqrt{f \cdot T} + \sin 2\sqrt{f \cdot T}} \text{ (Farad)}$$

Der Funktionsverlauf von C hängt also von dem Produkt aus Zeitkonstante T und Frequenz f des Kettenleiters ab. Somit erreicht man mit dem Produkt $f \cdot T$ als Variable eine vom jeweiligen Kettenleiter unabhängige Darstellung.

In Abb. 5 ist deshalb der Verlauf von $\frac{C}{C_{\Sigma}}$ in Abhängigkeit von $T \cdot f$ wiedergegeben. Aus dieser Darstellung kann gefolgert werden:

1. Die Kapazitätsabnahme eines idealen Kettenleiters entspricht überraschend genau der Kapazitätsabnahme der gerauhten Folie bei Frequenzen über 50 Hz und einem Elektrolytwiderstand von 6000 $\Omega \cdot$ cm (siehe Abb. 3).

2. Bei einem Wert des Produkts von $f \cdot T = 4$ nimmt die Kapazität auf ca. 50% der Totalkapazität C ab. Dies ist anschaulich: Kommt die Zeitdauer (sec) der erzwungenen Schwingung (Kehrwert der Meßfrequenz) in die Größenordnung der Eigenzeitkonstante des Kettenleiters, so sind nur 50% der Totalkapazität wirksam. Die Eigenzeitkonstante eines Kettenleiters entspricht also sowohl hinsichtlich der theoretischen Behandlung wie auch in ihrer Auswirkung der Relaxationszeit von Atom- bzw. Molekularpolarisation bzw. Orientierungspolarisation.

3. Durch Variation des Elektrolytwiderstandes d. h. der Zeitkonstante des Kettenleiters, kann das Dispersiongebiet in meßtechnisch gut beherrschbare Frequen-

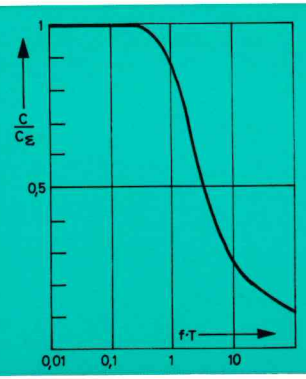



Abb. 5. Frequenzgang der Kapazität eines idealen R-C-Kettenleiters

f = Frequenz, T = Zeitkonstanz (sec) des Kettenleiters.

$$\frac{C}{C_\Sigma} = \frac{1}{\sqrt{f \cdot T}} \cdot \frac{\cos h\, 2\sqrt{f \cdot T} - \cos 2\sqrt{f \cdot T}}{\sin h\, 2\sqrt{f \cdot T} + \sin 2\sqrt{f \cdot T}} \approx \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{1+(kfT)^2}$$

$\alpha$ = 20–40
Aufrauhgrad 1 = 0,35

zen verschoben werden oder bei gegebenen Meßfrequenz kann der Elektrolytwiderstand den geometrischen Abmessungen der Oberflächenstruktur angepaßt werden.

Die gute Übereinstimmung des gemessenen mit dem gerechneten Kurvenverlauf legt eine Abschätzung der geometrischen Abmessung mit der Beziehung $f \cdot T = 4$ bei 50% Kapazitätsabnahme entsprechend Abb. 3 nahe.

Aus Abb. 3 ergibt sich für die rauhe Folie und einem Elektrolytwiderstand von 6000 Ω · cm eine Kapazitätsabnahme von 50% bei einer Meßfrequenz von 600 Hz d. h. die Zeitkonstante einer Pore beträgt:

$$T = \frac{4}{600\ (Hz)} = 6{,}5 \cdot 10^{-3}\ (sec)$$

Mit $T = R_\Sigma \cdot C_\Sigma$ kann für eine Ätzpore mit der Tiefe l und dem Radius r geschrieben werden:

$$T = R_\Sigma \cdot C_\Sigma = \varrho \cdot \frac{l}{r^2\,\pi} \cdot \xi \cdot 2r\pi \cdot l =$$

$$= \varrho \cdot \xi \cdot \frac{2\,l^2}{r}\ (sec)$$

$\xi$ ist die spez. Kapazität einer 22 V-Oxidschicht und beträgt, gemessen auf einer glatten Oberfläche, $2{,}5 \cdot 10^{-7}\ \frac{F}{cm^2}$, der spez. Widerstand $\varrho$ des Elektrolyten beträgt $6 \cdot 10^3$ Ω · cm. Somit ergibt sich das Verhältnis

$$\frac{l^2}{r} = 2{,}15\ (cm)$$

$$l = 1{,}47 \cdot \sqrt{r\ (cm)}$$

Aus Rasterelektronen-mikroskopischen Aufnahmen [5] sowie aus indirekten Messungen ist bekannt, daß der mittlere Durchmesser der Poren bei 0,1 $\mu$m = $10 \cdot 10^{-6}$ cm liegt. Dann errechnet sich die Porentiefe nach der durch die elektrischen Messungen gefundene Beziehung zu ca. 46 $\mu$m.

Tatsächlich sind die untersuchten Folien, die 90 $\mu$m dick sind, wasserdurchlässig.

Somit ist am Beispiel von gerauhter Folie aufgezeigt, daß sich Oberflächenstrukturen bei entsprechender Anpassung des Elektrolytwiderstandes durch eine Dispersion bemerkbar machen und daß für diese Dispersion die Kettenleitereigenschaft von Vertiefungen verantwortlich sind. Ganz allgemein gilt dann eine Beziehung $l = k \sqrt{r}$, die bei Bekanntsein einer Größe die andere zu berechnen gestattet. Die Konstante k wird durch Messung der Dispersion ermittelt [6].

### 4.2. Dispersion verschiedener Folien im unteren Frequenzbereich

Die Dispersion im unteren Frequenzgebiet (von 0,01 bis 1,25 Hz) läßt Rückschlüsse auf den Aufbau der Oxidschicht zu. Denn wie Abb. 3 zeigt, kann z. B. bei gerauhten Folien unterschieden werden, ob das Metall vor der anodischen Oxidation 1 Minute in 65°C warmen Wasser (C) oder ob die Folie nur in Wasser von Raumtemperatur (B) ebenfalls 1 Minute lang behandelt wurde. Durch die bei 65°C ablaufende Reaktion bildet sich eine in Chromphosphorsäure lösliche Aluminiumhydroxidschicht. Bei der Ablösung mit heißer Chromphosphorsäure findet man bei der in 65°C warmen Wasser praeoxidierten gerauhten Folie ein Aluminium-Hydroxyd-Belag mit einem Flächengewicht von 3,5 g/m² und bei der Folie der Typ B nur 1,5 g/m².

Auch hier gilt wiederum, daß eine Änderung der DK von Aluminiumoxid bzw. hydratisiertem Aluminiumoxid unwahrscheinlich ist.

Die hier festgestellte Dispersion im Frequenzgebiet unter 10 Hz ist von einer Dielektrikumseigenschaft mit ungewöhnlich langer Relaxationszeit bzw. Eigenzeitkonstante (mehrere Sekunden) hervorgerufen.

Mit Dielektrikums-Vorgängen, die entsprechend der Grenzflächen bzw. Inhomogenitätstheorie nach Maxwell [7] und K. W. Wagner [8, 9] verlaufen, können derart lange Relaxationszeiten erklärt werden. Innerhalb des Dielektrikums befinden sich Bereiche unterschiedlicher Kristallstruktur bzw. Kristallzusammensetzung, wie es die Kombination der stromlos erzeugten Hydroxydschicht und der anodisch erzeugten Oxidschicht darstellt. Es ist anzunehmen, daß diese Inhomogenitätsbereiche zumindestens unterschiedliche Leitfähigkeiten, wahrscheinlich aber auch unterschiedliche relative Dielektritätskonstante haben.

An solchen Inhomogenitätsbezirken müssen sich bei Einwirkung eines elektrischen Feldes Raumladungen mit entsprechenden Gegenladungen ausbilden. Das heißt aber, daß diese „makromolekularen Dipole“ die normale relative Dielektrikumskonstante von Aluminiumoxid erhöhen.

Da aber zu dieser Dipolbildung Ladungen über das hochisolierende Dielektrikum transportiert werden müssen, ist die Relaxationszeit von einigen Sekunden vorstellbar.

Der hier festgestellte Unterschied im Umfang der Dispersion der beiden gerauhten Folien dürfte also auf die Kombination der unterschiedlichen Aluminium-Oxide zurückzuführen sein, die zu einem mehr oder weniger inhomogenen Aufbau der anschließend anodisch aufgebrachten Oxidschicht führen.

Diese Inhomogenitäten können sowohl mit chemischen wie auch mit kristallographischen Untersuchungsmethoden nachgewiesen werden [10, 11, 12].

Darüber hinaus ist bekannt, daß Aluminiumoxidschichten defektelektronenleitend sind [13] und daß diese Leitfähigkeit durch die chemische Zusammensetzung (Verhältnis von Aluminium-Sauerstoff-Hydroxid) beeinflußt wird.

Daß auch die glatte Folie eine Dispersion im Tieffrequenzgebiet hat, ist entsprechend obiger Erklärung durch die Luftoxidschicht bedingt. Die Luftoxidschicht ist der anodisch gebildeten Oxidschicht ähnlicher als eine in Wasser gebildete Hydratschicht, aber sicher nicht identisch mit der anodischen Oxidschicht. Aus diesem Grund ist die Dispersion geringer als bei den vorhydratisierten gerauhten Folien [14].

Somit läßt die Höhe der Dispersion im Tieffrequenzbereich ein Urteil über den Grad der Inhomogenität eines Dielektrikums zu.

## Zusammenfassung

Metalle bilden häufig isolierende Oxidschichten wie das hier untersuchte geätzte Reinstaluminium. Mit einem leitfähigen Elektrolyten kann das System Muttermetall — Metalloxid zu einem Kondensator (Elektrolytkondensator) ergänzt werden.

Die Kapazität eines solchen Kondensators hängt bei entsprechender Anpassung der Elektrolytleitfähigkeit im Frequenzbereich zwischen 50 Hz ... 1000 Hz stark von der Oberflächenstruktur des Muttermetalles ab. Aus der Lage des Dispersionsgebietes lassen sich Schlüsse auf die Geometrie der Oberflächenstruktur ziehen.

Im Frequenzbereich zwischen 0,01 Hz ... 10 Hz zeigt sich ebenfalls eine Dispersion der Kapazität. Die Höhe dieser Dispersion gibt Hinweise auf die Inhomogenität der Oxidschicht.

**Literaturhinweise:**


1. A. Güntherschulze u. H. Betz; Elektrolyt-Kondensatoren. Technischer Verlag H. Cram, Berlin (1952)
2. Spezialmeßgerät des Gerätebaues der Firmengruppe Roederstein (siehe auch DIN 413 28 Blatt 4)
3. Stellungnahme Dr. Ing. H. Hoyer der Phys. Technischen Bundesanstalt vom 28. 1. 1959 an VDE/FNE
4. R. H. Broadbent, Aluminium Foil Electrolytic Capacitors in Electrochemical Technology Vol. 6 Nr. 5–6 1968
5. C. G. Dunn, R. B. Bolon, A. S. Alwan u. A. W. Stirling, Journ. of the Electrochem. Soc. Vol. 118 No. 2 Febr. 71
6. In einer in Vorbereitung befindlichen Arbeit ist vorgesehen, verschiedene Ätzstrukturen miteinander zu vergleichen
7. I. C. Maxwell, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus Bd. 1, Berlin 1883
8. K. W. Wagner, Dielektrische Nachwirkungsvorgänge. Archiv für Elektrotechnik II Bd. H. 9. 1914
9. P. O. Schupp, Elektrophysik der Kunststoffe aus Chemie + Technologie der Kunststoffe 2. Aufl. Bd. 1
10. W. D. Münz, Untersuchung zur Morphologie von Aluminiumhydroxiden und anodischen Aluminiumoxiden mit dem Rasterelektronenmikroskop; Werkstoffe und Korrosion 1972/23/2
11. L. Holik u. H. Nowotny. Der Aufbau von Oxidschichten im Elektrolytkondensator. Metallwissenschaft und Technik. 1957. 11. Jahrg. H. 9
12. H. Ginsberg u. K. Wefers. Zur Struktur und Morphologie der Hydroxidschichten auf Aluminiumoberflächen. Aluminium 37 (1961)
13. K. Hauffe. Oxydation von Metallen und Metall-Legierung. Springer Verlag (1956) Berlin, Göttingen, Heidelberg
14. Über andere Einflüsse auf dem Grad der Tieffrequenzdispersion wird später berichtet Verfasser: Dipl.-Phys. V. Degenhart und Ing. P. Möbius. Firma Roederstein und Türk KG., 7815 Kirchzarten.

Jochen Martin

# Wie zuverlässig sind Elkos unter extremen Bedingungen

## Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren für die industrielle Elektronik

Erschienen in der Zeitschrift
Elektronik Praxis
Heft 4/73

Die rapide Aufwärtsentwicklung innerhalb der Industrieelektronik stellte die Bauelementeindustrie vor die Aufgabe, qualitativ hochwertige Elektrolytkondensatoren zu entwickeln. Um die Forderungen dieses Anwendungsbereichs zu erfüllen, wurden Elektrolyt-Kondensatoren auf den Markt gebracht, die speziellen Anforderungen, wie hoher Strombelastbarkeit, hoher Betriebsbrauchbarkeitsdauer, breitem Temperaturbereich (−40°C bis +85°C), kleinen Abmessungen und niedrigen Ausfallraten, gerecht werden. Solche Kondensatoren finden vorrangig Einsatz in der professionellen Elektronik (Nachrichten-, Trägerfrequenz- sowie Steuer- und Regeltechnik, weiter in hochwertigen Meßgeräten, Polizeifunkgeräten, im Bergbau, in digitalen und analogen Großrechnern sowie für militärische Anwendungen einschließlich der Flugsicherung).

### Bauformen professioneller Elektrolyt-Kondensatoren

Abb. 1 zeigt die möglichen Bauformen professioneller Elektrolyt-Kondensatoren:

**Bauform A**

hat einen Kunststoffdeckel mit Lötfahnenanschlüssen, techn. Daten nach DIN 41 247, Anwendungsklasse GPF. Er wird hauptsächlich als Typ IA in Netzgeräten und als Typ IB in Zeitgeberschaltungen eingesetzt.

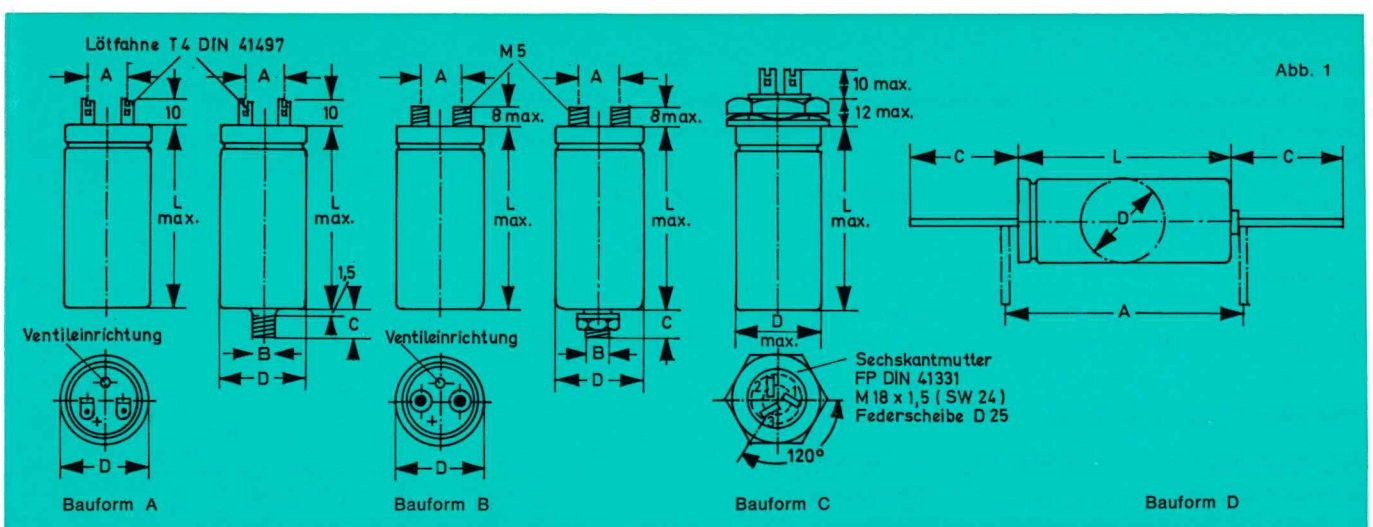



Abb. 1

**Bauform B**

ist ein hochkapazitiver Elektrolyt-Kondensator mit Kunststoffdeckel und eingegossenen Schraubanschlüssen, Anwendungsklasse GPF. Dieser Typ ist besonders prädestiniert für die Anwendung in der industriellen Elektronik. Um den in diesem Bereich zum Teil sehr hohen Strombelastungen zu genügen, hat dieser Elektrolyt-Kondensator anstelle von Lötfahnen Schraubanschlüsse mit einem M-5-Innengewinde. Es stehen somit erheblich größere Querschnitte zur Verfügung, wodurch eine Wechselstrombelastbarkeit bis etwa 40 A erreicht wird. Das Deckelmaterial besteht aus Polypropylen. Zum Unterschied zu anderen Konstruktionen werden die Innenverbindungen nicht genietet, sondern verschweißt. Es ist genügend Platz für eine Ventilkonstruktion vorhanden. Man verwendet dabei eine Kombination aus Membran- und Stopfenventil. Der Ansprechdruck der Ventilmembrane beträgt etwa 5 atm, der des gesamten Stopfens rd. 10 atm. Der kritische Druck der gesamten Becherkonstruktion liegt mit blockiertem Ventil bei rd. 20 atm. Der Kapazitätsbereich solcher Elektrolyt-Kondensatoren reicht von 220 µF bis 150 000 µF bei Becherabmessungen von 35 mm x 50 mm bis 75 mm x 135 mm.

Abb. 2 zeigt, daß es mit den Schraubanschlüssen sehr leicht möglich ist, Kondensatorbatterien bis etwa 1 F zusammenzuschalten. Die Verbindungsleitungen werden als parallellaufende Kupferschienen dem maximal auftretenden Strom entsprechend ausgeführt. Um die Länge der „Batterie" und damit die Leitungsinduktivität möglichst gering zu halten, werden die einzelnen Kondensatoreinheiten gegeneinander versetzt auf die Kupferschienen aufgeschraubt.

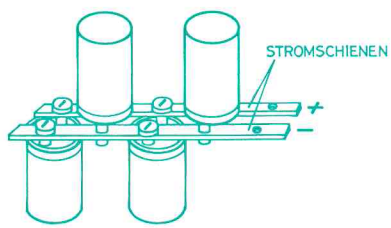


Abbildung 2

**Bauform C**

ist ein hochkapazitiver Elektrolyt-Kondensator im Aluminiumgehäuse mit Kunststoffdeckel und Zentralgewinde M 18 x 1,5 mit Lötfahnenanschlüssen, Anwendungsklasse GPF.

In dieser Bauform sind auch Doppelkapazitäten möglich. Die Bechergrößen reichen von 25 mm x 40 mm bis 40 mm x 114 mm.

**Bauform D**

ist ein axial freitragender Elektrolyt-Kondensator mit gummierter Abdeckplatte, Anwendungsklasse GPF bei Bechergrößen von 6 mm x 10 mm bis 25 mm x 50 mm.

## Betriebsbrauchbarkeitsdauer

Bei den nun folgenden Angaben sind zugrunde gelegt:

- eine Betriebsbrauchbarkeitsdauer von $10^5$ h bei +40°C,
- Belastung mit überlagertem Nennwechselstrom,

- Verhältnis 1 : 2 zwischen Betriebszeit und Betriebspausenzeit,
- auftretende Ausfallrate $\leqq 5\%$,
- unmittelbare Umgebungstemperatur am Kondensator $-40°C$ bis $+85°C$.

Bei Konstanthalten der Ausfallrate ändert sich abhängig von der Umgebungstemperatur die Lebensdauererwartung. Bei Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren ist diese Abhängigkeit besonders groß. Man erfaßt sie überschlagsmäßig mit der sogen. 10°-Regel, die besagt, daß bei Konstanthalten der Ausfallrate die Lebensdauer halbiert wird, wenn die Kondensatoren um je 10°C höher beansprucht werden als +40°C. In der Praxis sieht dies folgendermaßen aus:

| Umgebungs-temperatur [°C] | Lebens-dauererwartung [h] |
|---|---|
| 40 | 100 000 |
| 50 | 50 000 |
| 60 | 25 000 |
| 70 | 12 500 |
| 80 | 6 250 |

Man sieht hier ganz deutlich, wie stark die Umgebungstemperatur in die Lebensdauererwartung eingeht. In Jahren ausgedrückt, besagt dies, daß ein Kondensator bei +40°C eine Lebensdauererwartung von rd. 12 bis 15 Jahren hat, bei +85°C aber nur noch knapp ein Jahr. Verdeutlicht wird dies ebenfalls durch die in Abb. 3 dargestellte Grafik. Darin sind neben der 10°-Regel noch die 7°-Regel zum Aufwärtsrechnen und die 13°-Regel zum Herunterrechnen aufgeführt, die den Lebensdauererwartungen etwas genauer entsprechen.

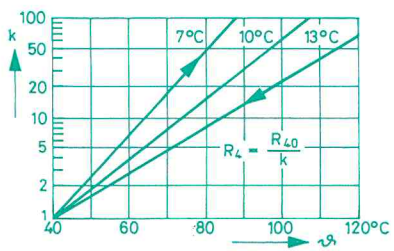


Abb. 3

## Wechselstrombelastung

Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Faktor der Betriebsbrauchbarkeitsdauer ist der überlagerte Wechselstrom, der zu einer Eigenerwärmung des Kondensators führt. Sie

wird hervorgerufen durch die Verlustwärme am Innenwiderstand des Kondensators. Es ist daher notwendig, den Verlustwiderstand bzw. den Ersatzserienwiderstand (ESR) so gering wie möglich zu halten.

Er setzt sich zusammen aus zwei Komponenten, die ihrerseits verschiedenen Gesetzen unterliegen:

$$ESR = R_d + R_E$$

$R_d$ = Verlustwiderstand im Dielektrikum, beim Elektrolytkondensator in der Aluminiumoxidschicht ($Al_2O_3$),

$R_E$ = Verlustwiderstand in der Elektrolytflüssigkeit zuzüglich der Summe aller sonstigen ohmschen Widerstände, die durch den Kondensatoraufbau gegeben sind.

Die im Kondensator aufgenommene Verlustleistung

$$N_v = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \tan \delta$$
$$= \frac{I^2}{\omega\ C} \cdot \tan \delta$$

wird in Wärme umgesetzt.

Man muß also versuchen, die auftretende Verlustwärme so schnell wie möglich an die Becheroberfläche abzuführen.

Tafel 1: C · ESR-Produkt für Elektrolyt-Kondensatoren mit unterschiedlichen Nennspannungen (Dividieren durch entsprechenden Kapazitätswert ergibt jeweiligen Ersatzwiderstand)

| $U_N$ [V] | 6,3 | 10 | 16 | 25 | 40 | 63 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ESR · C bei 50 Hz [Ω · µF] | 300 | 235 | 210 | 200 | 190 | 190 | 160 |
| ESR · C bei 100 Hz [Ω · µF] | 220 | 175 | 155 | 146 | 140 | 132 | 120 |

Tafel 2: Zulässige Verlustleistung in Abhängigkeit von der Bechergröße

| Abmessungen D x L [mm] | Verlustleistung $N_v$ [W] |
|---|---|
| 35 x 50 | 2,7 |
| 35 x 60 | 3,2 |
| 35 x 80 | 4,0 |
| 35 x 105 | 5,0 |
| 35 x 114 | 5,4 |
| 50 x 80 | 5,1 |
| 50 x 105 | 6,3 |
| 50 x 114 | 6,8 |
| 65 x 105 | 6,8 |
| 65 x 114 | 7,0 |
| 75 x 105 | 7,0 |
| 75 x 114 | 7,2 |
| 75 x 125 | 7,7 |
| 75 x 135 | 8,1 |

Bei Versuchen hat sich gezeigt, daß dies bei Kondensatoren mit kleinen Becherdurchmessern günstiger verläuft als bei den hier beschriebenen mit relativ großen Becherdurchmessern von 35 mm bis 75 mm. Diesem ungünstigen Verhalten zu entgegnen, werden gegenwärtig Versuche durchgeführt, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll.

Aus den Angaben der Tafeln 1 und 2 läßt sich mit

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{N_v}{ESR}} \quad \text{bezogen auf } +40°C,$$

die zulässige Größe des überlagerten Wechselstromes errechnen. Dabei ist aus Tafel 1 ersichtlich, daß mit steigender Frequenz der ESR abnimmt und somit eine höhere Wechselstrombelastung der Kondensatoren möglich ist. Abb. 4 zeigt dies in idealisierter Form für verschiedene Spannungen und Frequenzen bis 20 kHz.

Aus der durch Umgebungstemperatur und Eigenerwärmung kombinierten Beanspruchung der Kondensatoren ergibt sich eine entsprechende Veränderung der Betriebs-

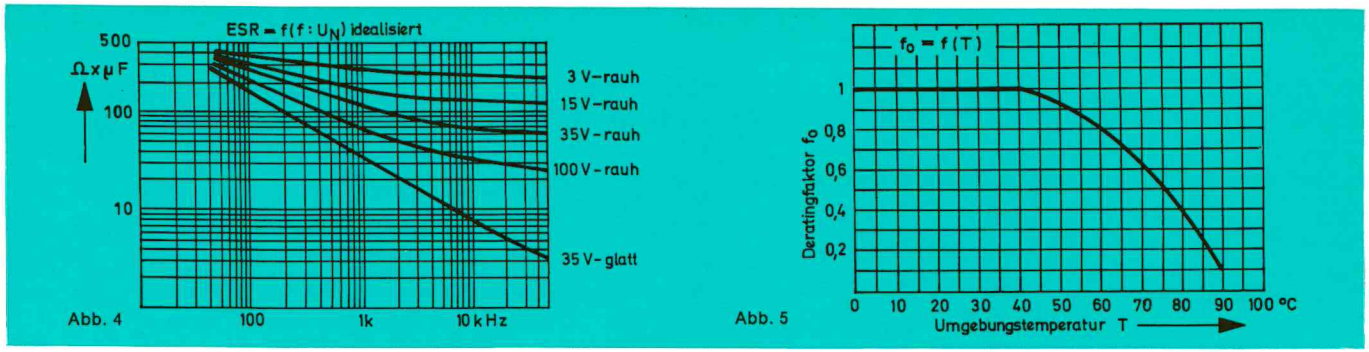



Abb. 4 Abb. 5

brauchbarkeitsdauer. Abb. 5 zeigt das notwendige Vermindern der Wechselstrombelastung, wenn bei erhöhter Umgebungstemperatur unveränderte Betriebsbrauchbarkeitsdauer bestehenbleiben soll. In DIN 41 332 wird dies bei Temperaturen über +40°C folgendermaßen erfaßt:

| Umgebungs-temperatur [°C] | Zulässiger Anteil des überlagerten Wechselstroms [%] |
|---|---|
| 40 | 100 |
| 50 | 90 |
| 60 | 80 |
| 70 | 60 |
| 80 | 40 |
| 85 | 25 |

Die anfangs beschriebene Verminderung der Betriebsbrauchbarkeitsdauer bei Erhöhung um je 10°C für Temperaturen über +40°C blieb dabei unberücksichtigt. Sie ist unabhängig von allen übrigen Belastungen und läßt sich nur durch Herabsetzen der Umgebungstemperaturen beeinflussen.

## Betriebszuverlässigkeit

Das Reststromverhalten bezüglich Größe und Stabilität, auch nach längerer spannungsloser Lagerung, ist ebenfalls ausschlaggebend für die Betriebszuverlässigkeit und Lebensdauer eines Kondensators. Es ist besonders abhängig von der Reinheit der

Anodenfolie des Betriebselektrolyten und von der Formierung der Oxidschicht. Man muß deshalb beim Formierprozeß größte Sorgfalt walten lassen, um eine gleichmäßige, stabile Oxidschicht je nach gewünschter Spannungsfestigkeit zu erhalten. Die erforderliche Oxidschichtdicke beträgt etwa 0,0015 µm je Volt Betriebsspannung. Das Aluminiumoxyd als Dielektrikum hat gegenüber anderen Dielektrika den Vorzug, daß es sehr spannungsfest bei sehr dünnen Schichten ist.

Ähnlich wie beim Wechselstrom entsteht auch durch Gleichstrom im Kondensator eine Verlustleistung und somit eine Erwärmung, die dem Produkt aus Kondensatorgleichspannung und Reststrom proportional ist. Es ist wegen der exponentiellen Abhängigkeit des Reststroms von der Temperatur durchaus möglich, daß der Reststrom durch Aufschaukeln mit der Temperatur in den unstabilen Bereich gelangt und somit eine thermische Zerstörung des Kondensators eintritt.

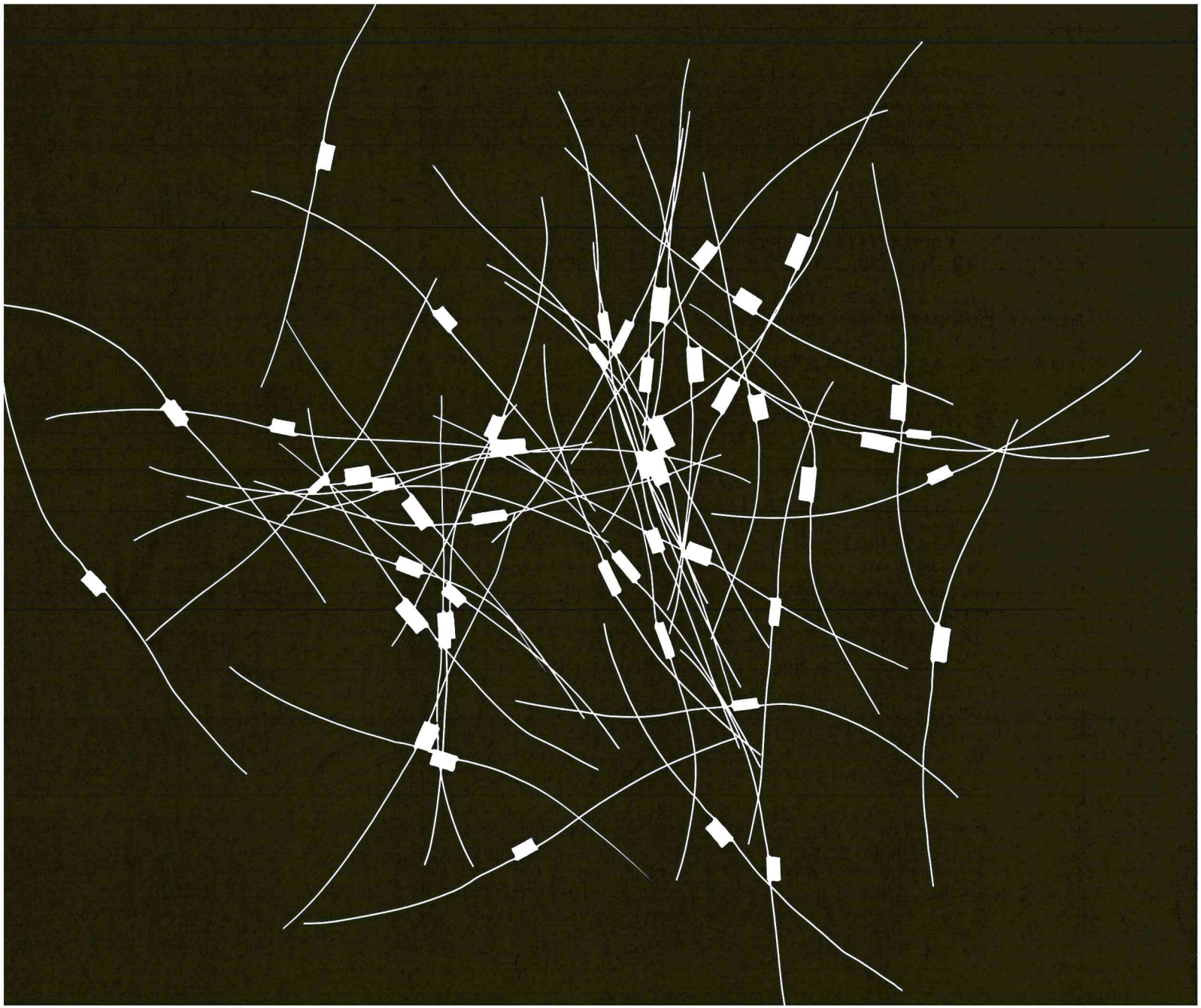
Es wird oft angenommen, daß ein Elektrolyt-Kondensator sich weniger verbraucht als andere Bauelemente. Daß dem nicht so ist und wie stark hier u. a. die Temperatur eingeht, wurde bereits gezeigt. Darüber hinaus wird oft auch nicht berücksichtigt, daß der Betriebsstrom durch die nicht zu vermeidenden Fehlstellen (Verunreinigungen in der Oxidschicht) fließen muß und daß hier keine weitere Oxidschicht aufgebaut werden kann. Im Kondensator tritt dadurch eine kathodische Gasentwicklung auf, die bei hohen Temperaturen größer ist, da ja der Reststrom ansteigt. Bei dieser Gasentwicklung werden Sauerstoff an der Anode und Wasserstoff an der Kathode als Formiergas abgeschieden. Nach den Faradayschen Gesetzen fließen dei Anionen des Elektrolyten zur Anode und spalten dort Sauerstoff ab, der zur Regenerierung der Oxydschicht verbraucht wird, die Kationen wandern zur Kathode, die bei der Neutralisation zu Wasserstoffgas rekombinieren.

Durch entsprechende Elektrolytzusammensetzung läßt sich dieser Gasdruck, der sehr schnell auf über 1 atm ansteigen kann, weitgehend vermeiden. Man ersieht daraus, daß es von großer Wichtigkeit ist, der Ventilkonstruktion besondere Sorgfalt zu widmen, um Unfälle durch Zerplatzen eines Elkos zu vermeiden.

Viele Versuche in dieser Richtung haben gezeigt, daß das anfangs beschriebene Membranstopfenventil diesen Sicherheitsvorkehrungen in jedem Fall entspricht.

**Literaturhinweis:**


[1] Loth, Hans: Wechselstrombelastbarkeit von Elektrolytkondensatoren. Elektronik-Entwicklung 4/67.
[2] Loth, Hans: Über den Serienwiderstand von Alu-Elkos. Elektrowelt B 6, März 1963.
[3] Sessle, Roland: Niedervolt-Elektrolytkondensatoren hoher Kapazität, Computer-Reihe. Siemens Bauteile-Information 4/69.



D. Muschiol
A. Sacher

# Schichtwiderstände mit Sicherheitswirkung

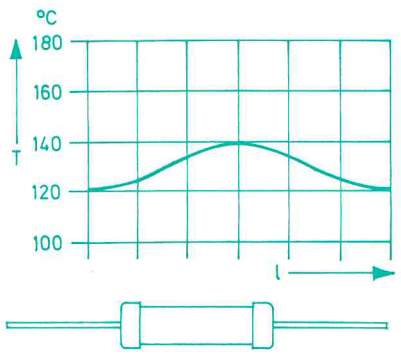



Abb. 1

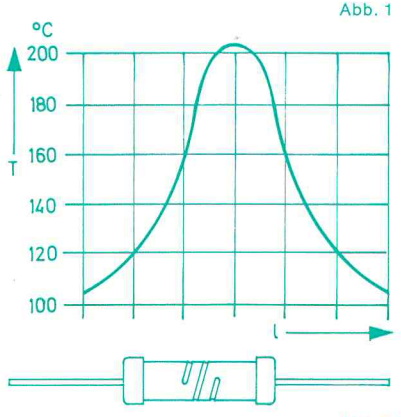



Abb. 2

Erschienen in der Zeitschrift
Funkschau

Ein Sicherungswiderstand soll — wie der Name sagt — seinen Zweck als Widerstand und zusätzlich als Sicherung erfüllen. Normalerweise könnte man jeden Schichtwiderstand dazu verwenden, um bei Überlast durch Verglühen oder Verdampfen der Widerstandsschicht (Kohle-Metall-Metalloxid) eine Sicherungswirkung zu erzielen.

Die Auslösezeiten sind dabei jedoch für die meisten Anwendungsfälle zu lang, und dadurch besteht Gefahr von Folgeschäden.

Durch besondere Maßnahmen, welche bei Auslegung des Grundwertes, Widerstandsschicht, Wendelsteigung, Ausschliff, Lackierung getroffen werden, kann mit fast gleicher Leistungsfähigkeit des Widerstandes eine wesentlich kürzere Auslösezeit erzielt werden.

Ein normaler Widerstand ist so ausgelegt, daß bei voller Belastung sein Widerstandswert sich möglichst wenig verändert und auch über längere Zeit eine hohe Betriebssicherheit gewährleistet ist. Im Prinzip wird dies unter anderem dadurch mit erreicht, daß die Widerstandsschicht am Widerstandskörper voll, also 100%ig, ausgewendelt wird. Damit wird die durch Belastung entstehende Wärme gleichmäßig an den Widerstandskörper abgegeben.

Die Wärmeableitung des Widerstandskörpers über die Anschlußdrähte und an die umgebende Luft ist jedoch nicht so günstig, daß eine gleichmäßige Oberflächentemperatur des Widerstandskörpers zustande kommt. Wenn ein Schichtwiderstand in zylindrischer Form eine gewisse Zeit lang belastet wird (Nennlast), erhöht sich die Temperatur in der Mitte des Stabes beträchtlich gegenüber der an den Stabenden (siehe Abb. 1).

Dieser Zustand ergibt sich auch bei Belastung an nicht gewendelten Widerständen.

Wenn nun ein Widerstand so hergestellt wird, daß nur die mittlere Partie des Stabes gewendelt wird, so ist die Temperaturüberhöhung noch ausgeprägter und nimmt Verhältnisse an wie in Abb. 2.

Mit dieser Ausführung ist zwar ein schnelleres Auslösen (Durchbrennen) im Bedarfsfall möglich, für Normalbetrieb unter voller Dauerlast ist jedoch eine Temperaturüberhöhung in dem Maße nicht tragbar. Die Widerstandsschicht wird zu heiß, so daß die Umhüllung Schaden erleidet und die Widerstandsschicht selbst relativ schnell oxidiert, was eine hohe Abweichung vom Ausgangswert zufolge hat (geringe Lebensdauer).

Da von einem Widerstand mit Sicherungswirkung verlangt wird, daß er auch mit voller Nennleistung eingesetzt werden kann, wurde versucht, einen Widerstand herzustellen, der beide Forderungen weitgehend erfüllt.

Um dies zu erreichen, wurde z. B. eine Teilwendelung an das Stabende (bzw. Anfang) verlegt. Die Folge davon ist, daß die Temperaturspitze nicht mehr in der Mitte des Stabes auftreten kann, sondern dorthin verlagert wird, wo am Widerstandskörper der größte Spannungsabfall vorliegt (außerhalb der Stabmitte). Die Temperaturspitze ist in diesem Fall nicht so hoch wie in Abb. 2, da die Temperatur in den fast nicht belasteten Teil des Stabes abgeleitet wird (siehe Abb. 3).

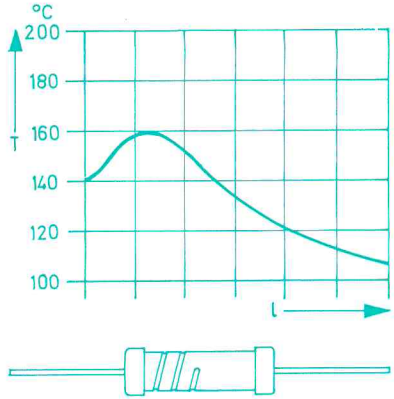



Abb. 3

Im Falle einer Sicherungsaufgabe, also einer plötzlich starken Überlastung, tritt am gewendelten Teil eine sehr hohe Temperaturspitze auf. Der Keramikstab kann jedoch die Temperatur in den nicht belasteten Teil nicht so schnell ableiten, was zur Folge hat, daß die Temperatur im belasteten Teil um so höher ansteigt. Bei einer entsprechenden Überlastung brennt dann der Widerstand in einer bestimmten Zeit durch (siehe hierzu Diagramm 1).

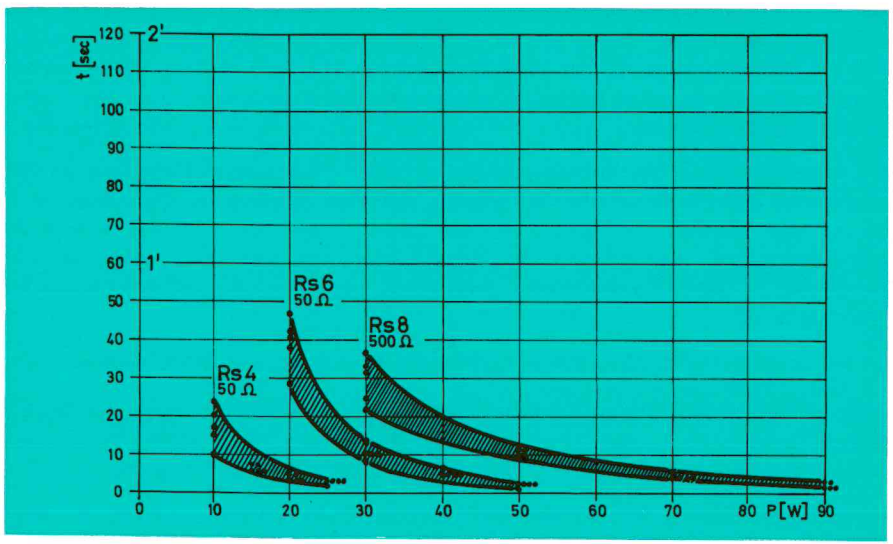



Diagramm 1

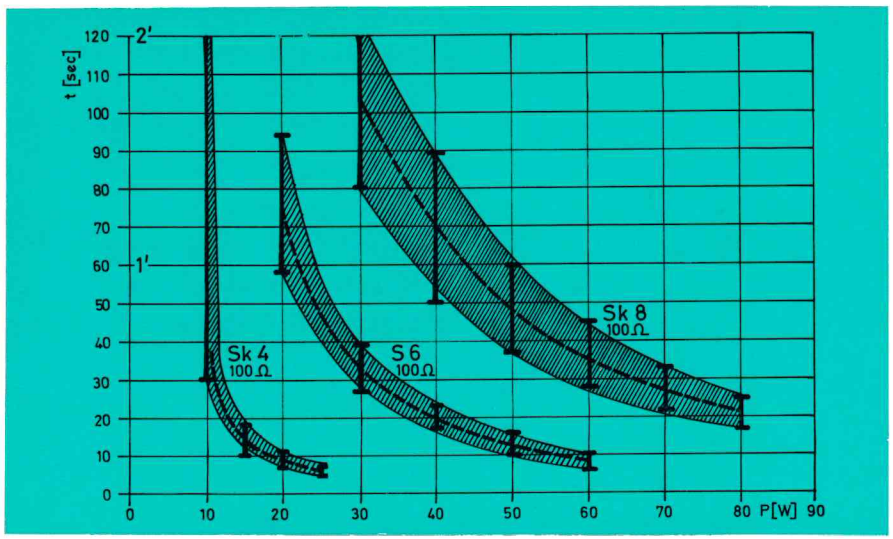
**Bauformen:**

Als Sicherungswiderstände lasse sich alle erdenklichen Bauformen einsetzen, vorausgesetzt, es handelt sich um Schichtwiderstände.

Erfahrungsgemäß werden drei Abmessungs-Größen und drei Leistungsstufen bevorzugt eingesetzt.

| RESISTA-Typ | $P_{70}$ | Abmessungen ∅ | Länge |
|---|---|---|---|
| Rs 4 | 0,5 Watt | 4 mm | 12 mm |
| Rs 6 | 1,0 Watt | 9 mm | 14 mm |
| Rs 8 | 2,0 Watt | 9 mm | 20 mm |

Diagramm 2



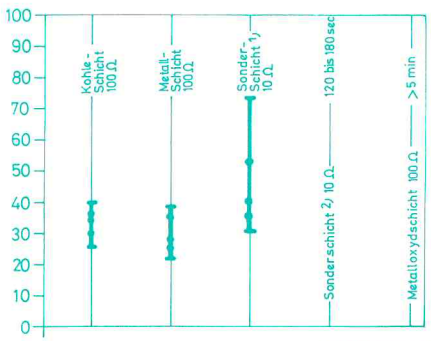




Diagramm 3

## Widerstandsschicht und Wertbereich

Nicht alle Widerstandsschichten (Kohle-, Metall-, Metalloxidschicht) eignen sich für eine optimale Funktion von Sicherungswiderständen (Diagramm 3).

Hervorragend für den Einsatz von diesen Bauelementen haben sich Kohle- und Sonderschichten bewährt.

Für den Wertbereich 5 Ω bis 1,0 kΩ — Kohleschicht — und von 1 Ω bis 5 Ω Sonderschichten.

Als Trägerkeramik verwendet man alkalifreies Porzellan. Dadurch wird erreicht, daß hohe Spannungen (100 Volt) nicht zu Lichtbogen-Bildungen führen können.

## Lebensdauer

Ein Vergleich zwischen einem Sicherungswiderstand und einem herkömmlichen Schichtwiderstand beweist, daß ein Sicherungswiderstand in diesen Wertbereichen einem Standwiderstand gleichwertig ist (Diagramm 4).

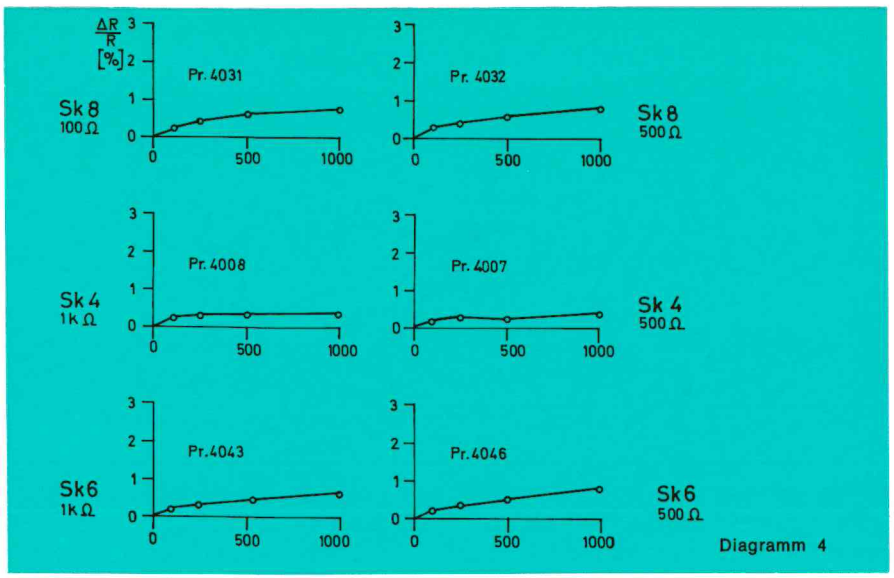
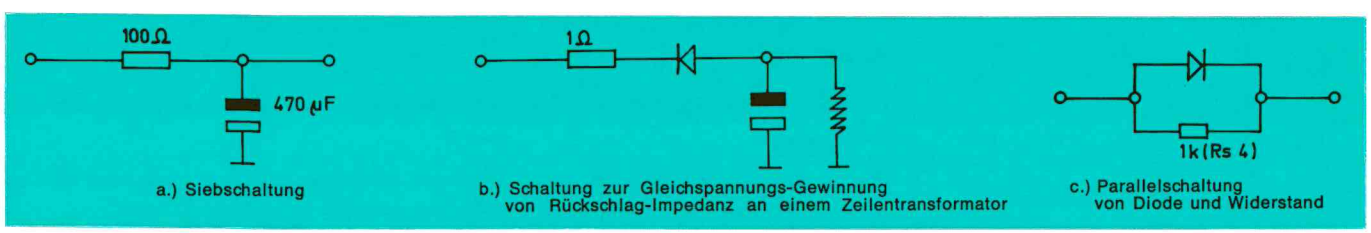



Diagramm 4

## Typische Einsatzfälle für Sicherungswiderstände

In der Unterhaltungselektronik gibt es berechtigte Einsatzfälle für Sicherungswiderstände, die bei Überlastung, z. B. durch den Kurzschluß einer Diode oder eines Kondensators,den Stromkreis schnell unterbrechen, um somit Folgeschäden wie einen Abbrand der Platine oder einen Ausfall des Zeilentransformators zu vermeiden.




a.) Siebschaltung

b.) Schaltung zur Gleichspannungs-Gewinnung von Rückschlag-Impedanz an einem Zeilentransformator

c.) Parallelschaltung von Diode und Widerstand

Klaus Wunderlich

# Minimold-Transistoren und Dioden

Halbleiter für Dickschicht und Dünnfilmschaltungen müssen so klein wie möglich und einfach einlötbar sein. Bisher wurden allgemein diskrete Bauelemente in TO-92-ähnlichen Gehäusen oder Microdisk-Gehäusen eingesetzt. Dem Wunsch des Anwenders, klein und einfach montierbar zu sein, entsprachen sie aber nicht.

Die Minimold-Transistoren und -Dioden wurden von NEC in Zusammenarbeit mit DITRATHERM speziell für Dickschicht- und Dünnfilmschaltungen geschaffen. Die Forderungen nach kleineren Abmessungen, größerer Wirtschaftlichkeit, höherer Zuverlässigkeit und einfacher Handhabung können durch NEC-Minimold-Halbleiter erfüllt werden.

## Minimold-Halbleiter

Minimold-Transistoren und -Dioden stammen von bekannten NEC-Kleinsignal-Halbleitern ab und sind in ihren äußeren Abmessungen den Anforderungen der Hybrid-Technik angepaßt worden. Auf Grund bedeutend kleinerer Abmessungen und wesentlich anderer thermischer Eigenschaften weichen die Kennwerte der Minimold-Halbleiter teilweise von denen der 'großen' Paralleltypen ab.

Die mechanischen Abmessungen von 2,9 mm x 1,5 mm x 1,1 mm ergeben ein Volumen, das nur einem Zehntel eines üblichen Plastik-Transistors entspricht. Das kleine Gehäuse mit den größeren Abständen zwischen den Anschlußdrähten zeigt im Vergleich zu konventionellen Gehäusen weniger parasitäre Effekte und gestattet den Einsatz bei höheren Frequenzen, praktisch herauf bis zum UHF-Band.

Die Anschlußdrähte sind verzinnt, um den Einlötprozess zu erleichtern. Trotz kleinster Abmessungen ist eine automatische Montage möglich. Einfache Handhabung und Wirtschaftlichkeit sind kennzeichnend für diese neue Halbleitergeneration.

## 1. Verlustleistung

Das kleine Gehäuse hat zur Folge, daß die zulässige Gesamtverlustleistung im Vergleich zu konventionellen Gehäusen kleiner ist. Die zulässige Kollektorverlustleistung und der montageabhängige Wärmewiderstand sind durch die Formel

$$P_C = \frac{t_{(VJ)\,max} - t_{amb}}{R_{thJA}}$$

miteinander verbunden.

Der Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Umgebung, $R_{thJA}$, beträgt beim Minimold-Transistor etwa 580 K/W. Setzt man $t_{(VJ)\,max} = 125°C$, so ergibt sich eine zulässige Kollektorverlustleistung von

$$P_C = 170\ mW.$$

Bei der Montage auf ein Keramiksubstrat von 10 mm x 10 mm x 0,8 mm erhöht sich

Erschienen in der Zeitschrift
Industrie, Elektrik und Elektronik
Heft 21/73

die zulässige Verlustleistung um etwa 20%. In der Praxis stehen damit über 200 mW Verlustleistung zur Verfügung, so daß Kleinsignalschaltungen einfach zu realisieren sind.

Die folgenden Kurven zeigen für Substrate unterschiedlicher Struktur und Abmessung die zulässige Verlustleistung in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (Bild 1-5).

## 2. Anwendungsgebiete

Minimold-Transistoren können mit Ausnahme der Leistungstransistoren fast alle Transistoren in konventionellen Gehäusen ersetzen.

Schaltungen, die hohe Spannungen oder schnelles Schalten erfordern, sind ebenso

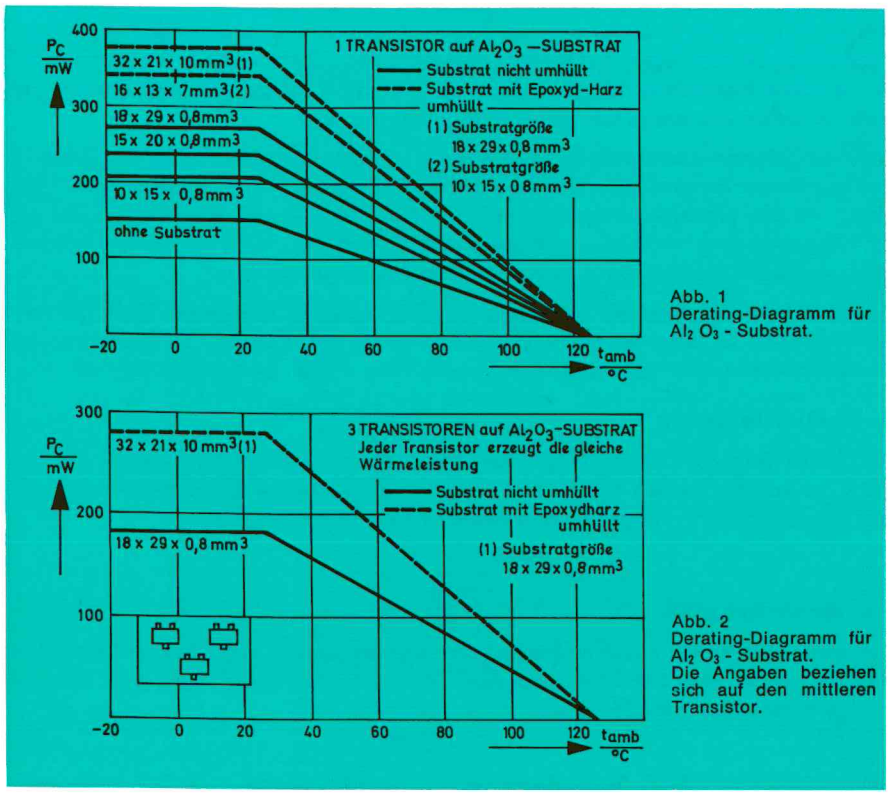



Abb. 1
Derating-Diagramm für $Al_2O_3$ - Substrat.

Abb. 2
Derating-Diagramm für $Al_2O_3$ - Substrat.
Die Angaben beziehen sich auf den mittleren Transistor.

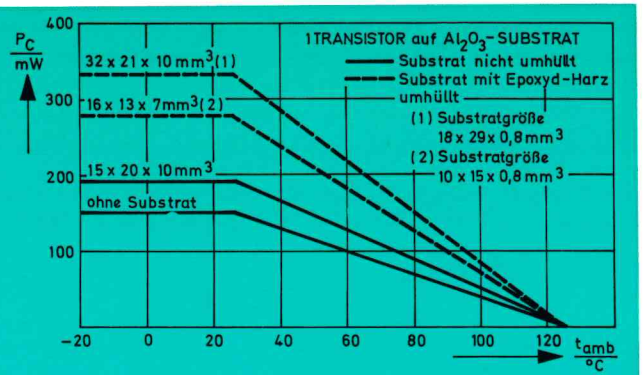



Abb. 3
Derating-Diagramm für Steatite-Substrat.

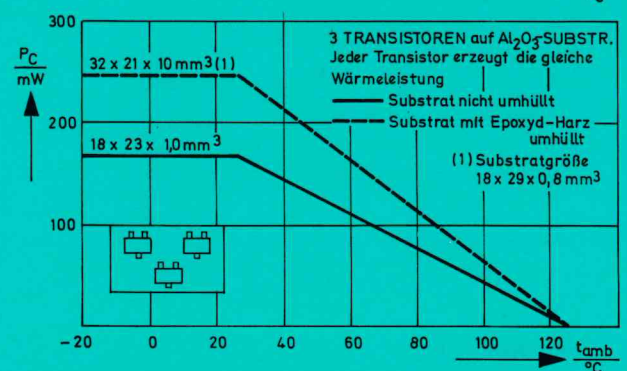



Abb. 4
Derating-Diagramm für Steatite-Substrat.
Die Angaben beziehen sich auf den mittleren Transistor.

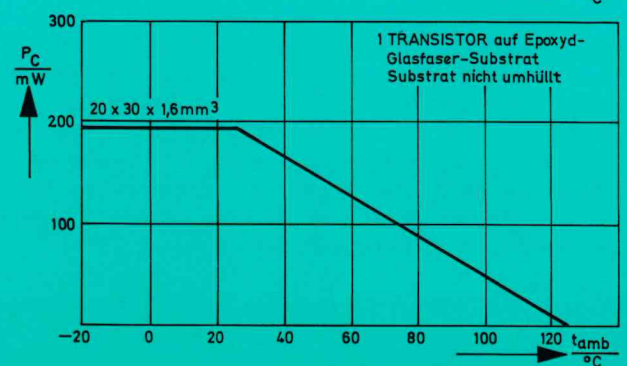



Abb. 5
Derating-Diagramm für Epoxyd-Glasfaser-Substrat.

möglich wie HF-Verstärker, Mischstufen und Oszillatoren bis hinauf zum UHF-Band. Fertigungsgerechte Hybridschaltungen für Fernseh-, Stereo-, Magnetbandgeräte, Kameras, Uhren, Meßgeräte und Industrieanwendungen lassen sich dadurch realisieren.

Minimold-Dioden ersetzen die bisher üblichen Schaltdioden im DO-35-Gehäuse.

Die folgende Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Unterschiede in den elektrischen Kennwerten zwischen Minimold- und konventionellen Transistoren.

| | max. Frequenz MHz | $P_C$ mW | $I_{C\,max}$ mA | $t_{vj}$ °C | $t_{stg}$ °C |
|---|---|---|---|---|---|
| Minimold-Transistor | 850 | 150 | 200 | 125 | −55 . . . +125 |
| Plastik-Transistor (TO-92) | 300 | 250 | 1000 | 125 | −55 . . . +125 |
| Micro-disc-Transistor | 1000 | 150 | 200 | 150 | −55 . . . +150 |

Tabelle 1: Einfluß der Gehäuseform auf die elektrischen Werte eines Transistors.

## 3. Zuverlässigkeit

Bei den Ausfallerscheinungen unterscheidet sich der Minimold-Halbleiter vom hermetisch gekapselten Halbleiter. Theoretisch bleibt bezüglich Feuchtigkeit und thermischer Belastung der hermetisch gekapselte Transistor unübertroffen. Die Zuverlässigkeitsprüfungen haben aber ergeben, daß für die praktische Anwendung der Minimold-Transistor eine zufriedenstellende Zuverlässigkeit aufweist. Bei der thermischen Belastung sind die Prüfergebnisse sogar besser als bei herkömmlichen Typen. Obgleich hinsichtlich Feuchtigkeit der Minimold-Typ den konventionellen Typen schwach unterlegen ist, ergeben sich für die Praxis keine Probleme, wie aus den Daten einer gerafften Prüfung (Tabelle 2) hervorgeht.

Tabelle 2: Ergebnisse einer gerafften Zuverlässigkeitsprüfung. Die Angaben zeigen extreme Belastungsbedingungen (worst case stress). Die Fehlerraten sind bei der praktischen Anwendung wesentlich kleiner.

| Prüfungen | Prüfbedingungen Fehler in % | Prüfbedingungen Fehler in % | Prüfbedingungen Fehler in % | | | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperaturwechsel (300 Prüflinge) | −20 . . . + 100°C | −40 . . . + 125°C | −60 . . . + 150°C | −75 . . . + 175°C | – | 30 Zyklen pro Temperaturbereich |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | – | |
| Temperaturschock (50 Prüflinge) | 5 Zyklen | 10 Zyklen | 20 Zyklen | 40 Zyklen | 60 Zyklen | 0 – 100°C |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Wärmebeständigkeit gegen Löthitze (130 Prüflinge) | 30 sec. | 60 sec. | 120 sec. | 300 sec. | 600 sec. | Lötbad 265°C |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| Siedewasser (100 Prüflinge) | 2 hr | 5 hr | 10 hr | 15 hr | 20 hr | 100°C |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| Druckwasser (200 Prüflinge) | 5 hr | 10 hr | 15 hr | 20 hr | 25 hr | 3,5 kg/cm² 25°C |
| | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | |
| Verlustleistung (150 Prüflinge) | 100 mW | 150 mW | 200 mW | 250 mW | 300 mW | 72 Stunden pro Leistungsstufe |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Hochtemperatur-Lagerung (100 Prüflinge) | 100°C | 125°C | 150°C | 175°C | 200°C | 72 Stunden pro Temperaturstufe |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Tabelle 2

## 4. Montagemethoden

Die großen Vorteile der Minimold-Halbleiter gegenüber den bisherigen Plastik-Typen oder scheibenförmigen Bauformen zeigen sich bei der Montage auf Hybrid-IS-Substrate. Durch die kleinen Abmessungen des 23 A3-Gehäuses kann das Volumen der Hybridschaltung um 50% und die Fläche um 30 . . . 50% verringert werden.

Beim Einsatz auf normalen Printplatten können die Bohrungen entfallen. Einfache und kostensparende Montage kann durch automatische Bestückung erreicht werden. Der Lötprozess ist mit üblichen Lötgeräten möglich. Zu den verschiedenen, erprobten Befestigungsmethoden gehören

Widerstandslöten
Heißgaslöten
Infrarotlöten
Lötkolbenlöten
Reflow-Löten
Kleben.

Das Laser-Schweißen kann in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

### 4.1 Widerstandslöten

Als Energiequelle dient ein übliches Widerstands-Schweißgerät, dessen Impulshöhe und -dauer einstellbar ist. Die Schweißelektrode wird durch einen Widerstandsheizkörper ersetzt, der dem Minimold-Gehäuse angepaßt ist und sich nur an den Kontaktstellen erhitzt.

Ein Flußmittel ist nicht erforderlich, da die Anschlüsse der Halbleiter verzinnt sind.

Halbleiter, Substrat und Lötgerät müssen genau positioniert werden.

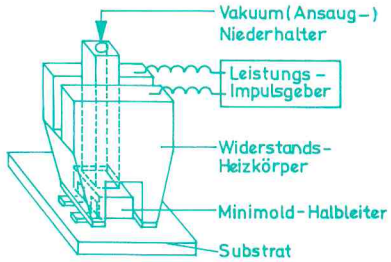



Abb. 6
Widerstandslöten

### 4.2 Heißgaslöten

Ein feiner Strahl heißen inerten Gases wird für eine kontrollierbare Zeitspanne auf die zu verlötenden Kontakte gerichtet. Durch verschiedene Düsen und veränderbare Gastemperatur kann die optimale Löttemperatur eingestellt werden.

Bei diesem Verfahren wird die Positionierung des Halbleiters durch das Lötgerät nicht beeinflußt, da die Düse die Lötstellen nicht berührt. Außerdem ist im Unterschied zum Widerstandslöten diese Methode unkritisch in Bereichen, in denen die Leiterbahnen die Wärme schnell abführen.

### 4.3 Infrarotlöten

Die Wärme liefert eine Infrarotlampe, die durch einen Reflektor fokussiert wird. Von Fall zu Fall ist ein Hitzeschild notwendig, um eine übermäßige Erwärmung des Halbleitergehäuses zu vermeiden. Praktischerweise führt man die Wärme von der Unterseite des Substrates zu. Mit einer geeigneten Positionierungsvorrichtung können so gleichzeitig mehrere Halbleiter gelötet werden.

Für das Bedienungspersonal ist ein Augenschutz gegen das intensive Rotlicht vorzusehen.

### 4.4 Lötkolbenlöten

Für Reparaturzwecke und Laboraufbauten eignet sich ein einfacher Miniatur-Lötkolben mit einer Spezialspitze für Minimold-Gehäuse. Der Minimold-Halbleiter verträgt Löthitze bis 300°C für 10 Minuten.

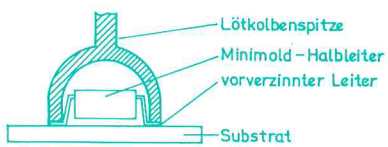



Abb. 7
Lötkolbenlöten mit Spezialspitze

### 4.5 Reflow-Lötung

Die gute Lötbarkeit der Anschlüsse bei Minimold-Halbleitern erlaubt die Anwendung der Thermokompression.

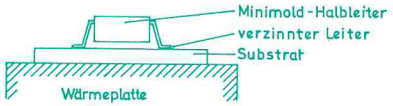
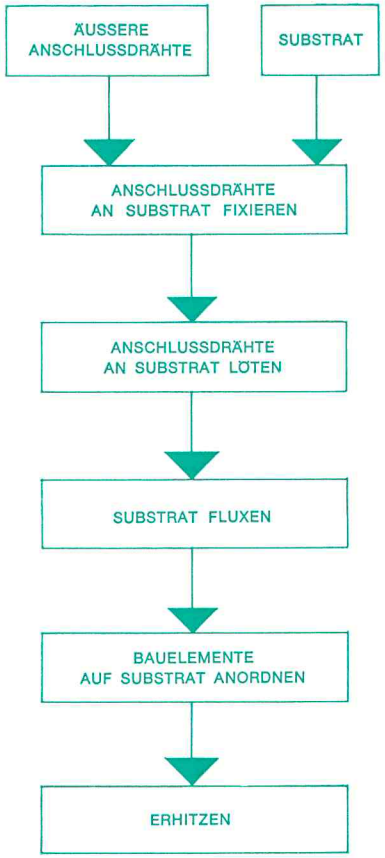



Abb. 8
Reflow-Lötung

Mit diesem Verfahren und nachfolgend beschriebener Ablauforganisation läßt sich die Fließband-Produktion von Hybridschaltungen mit etwa 70.000 Stück pro Monat und Fließband verwirklichen.

## Montageprozess




## Beschreibung:

Substrat aus Aluminiumoxid, Steatite, Glasfaser u. a.
Die Kontaktstellen sind vorher tauchverzinnt worden.

Die Kontaktstellen sind vorher am Substrat fixiert. Drahtrahmen (lead frame) verkürzen die Montagezeit.

Die äußeren Anschlüsse werden durch Lot mit dem Substrat verbunden. Lötzeit ca. 3 s bei 220 . . . 250°C. Eutektisches Pb-Sn-Lot mit Kester Soldering Flux No. 1544.
Hersteller: Kester Solder Co., USA

Die Original Fluxflüssigkeit wird mit Äthylalkohol o. ä. auf 1/3 verdünnt und das Substrat damit benetzt.

Die benötigten diskreten Bauelemente wie Minimold-Halbleiter, Chip-Kds. usw. werden auf dem Substrat positioniert.

Für Minimold-Halbleiter empfiehlt sich der Einsatz von Vakuum-Pinzetten zur unproblematischen Entnahme aus den Magazinen.

Durch die Magazinierung der Halbleiter ist eine automatische Bestückung möglich. Etwas Flux sorgt für ausreichende Haftung auf dem Substrat.

Die Bauelemente-Seite wird durch Heizstrahler erhitzt, bis die vorverzinnten Kontaktstellen zusammengelötet sind.

Temperatur: 200 . . . 250°C
Bandgeschwindigkeit: 30 cm/min.
Heizzeit: ca. 1 min.
Schmelzzeit des Lotes: 15 . . . 20 s

30 Sekunden Ultraschallreinigung bei 25°C. Lösungsmittel wie Chlorothene, TRI, Freon oder Alkohol können mehrfach verwendet werden.

Bedruckte Bauelemente nicht berühren solange Lösungsmittel auf der Oberfläche ist. Der Aufdruck könnte verwischt werden.

Falls erforderlich, die Gesamtfunktion der Schaltung prüfen und defekte Teile ersetzen.

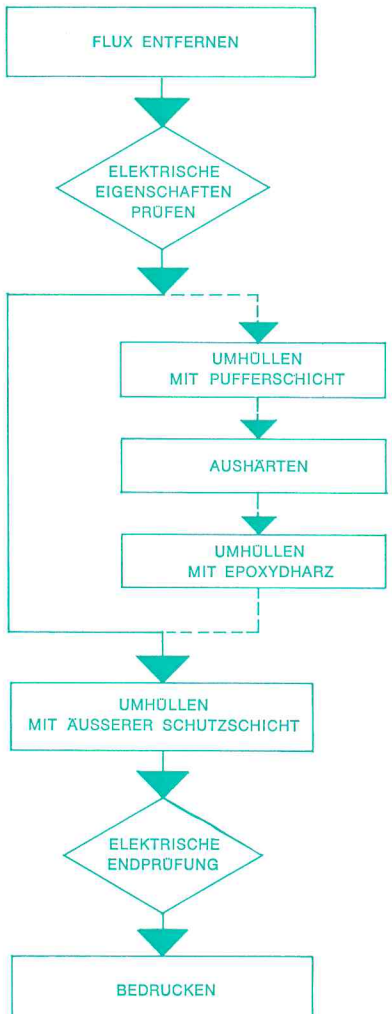
Als Pufferschicht wird flüssiges Harz im Tauch- oder 'potting'-Verfahren aufgebracht.

Temperatur: 100°C (bei Silicon-Harzen).
Zeitdauer: 4 h

Die Aushärtbedingungen hängen vom Harz ab.

Sofern Silicon-Harz als Pufferschicht verwendet wurde, wird nun Epoxydharz aufgesprüht. Anschließend Lufttrocknung für 12 bis 24 h bei Raumtemperatur. Dann 1 h Aushärten bei 70°C und abschließend 3 h bei 100°C.

Die Hybridschaltung wird in Umhüllmasse getaucht und die äußere Schutzschicht wird ausgehärtet.
(casting mold-Verfahren)
12 h Aushärten bei 120°C.



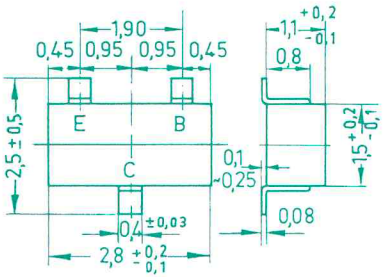



Abb. 9

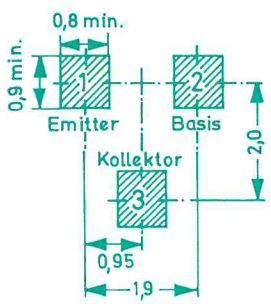



Abb. 10
Mindestgröße der Kontaktflächen auf dem Substrat

### 4.6 Kleben

Bei diesem relativ neuen Verfahren wird auf das Substrat ein leitfähiges, stark silberhaltiges Epoxydharz aufgedruckt.

Innerhalb der Topfzeit des Harzes müssen die Bauelemente auf die Kontaktstellen aufgebracht werden. Das Aushärten erfolgte je nach Harz bei Raumtemperatur oder im Ofen. Die gegenüber Lötverbindungen leicht erhöhten Übergangswiderstände sind in vielen Schaltungen unproblematisch.

## 5. Mechanische Kennwerte

**Anschlußschema:**

| Transistor | FET | Diode A5, A6 | Diode A3, A4 |
|---|---|---|---|
| 1. Emitter | Drain | Anode | Kathode |
| 2. Basis | Source | Anode | Kathode |
| 3. Kollektor | Gate | Kathode | Anode |

## 6. Vergleichsliste

Diese Tabelle zeigt weitgehend äquivalente Typen im 23 A 3-Gehäuse. Bei den mit *) gekennzeichneten Typen ist die Anschlußfolge Emitter-Basis oder Drain-Source entgegengesetzt.

| Typenbezeichnung | Ditratherm-Vergleichstyp |
|---|---|
| BA 225 | A 3 |
| BA 226 | A 5 |
| BAV 70 | A 6 |
| BAV 74 | A 6 |
| BAW 56 | A 4 |
| BAW 64 | A 6 |
| BAW 65 | A 5 |
| BAW 66 | A 3 |
| BAW 67 | A 5 |
| BAW 68 | A 3 |
| BCW 29 | M-4, M-5 |
| BCW 30 | M-6, M-7 |
| BCW 31 | D-6, L-4, L-5 |
| BCW 32 | D-6, D-7, L-5, L-6 |
| BCW 33 | D-7, D-8 |

| | |
|---|---|
| BCW 60 A | L-4, L-5, L-6, L-7 |
| BCW 60 B | M-4, M-5, M-6, M-7 |
| BCW 61 | M-4, M-5, M-6, M-7 |
| BCW 69 | C-6, M-4, M-5 |
| BCW 70 | C-6, C-7, C-8, M-6, M-7 |
| BCW 71 | L-4, L-5, L-6 |
| BCW 72 | L-5, L-6, L-7 |
| BCX 70 | L-4, L-5, L-6, L-7 |
| BCX 71 | M-4, M-5, M-6, M-7 |
| BFR 30 | *) K-3 |
| BFR 31 | *) K-1, K-2 |
| BFR 35 | Q-2, Q-3, Q-4, Q-5 |
| BFS 17 | Q-2, Q-3, Q-4, Q-5 |
| BFS 18 | F-1, F-2, F-3 |
| BFS 19 | F-3, F-4 |
| BFS 20 | Q-2, Q-3, Q-4, Q-5 |
| BFS 36 A | *) D-6, D-7 |
| BFS 37 | *) C-6, C-7 |
| BFS 37 A | *) C-6, C-7 |
| BFS 38 | *) L-4, L-5, L-6 |
| BFS 40 | *) M-4, M-5, M-6, S-4 |
| BFS 40 A | *) S-2, S-3, S-4 |
| BFS 41 | *) S-2 |
| BFS 44 | *) S-2, S-3, S-4 |
| BFS 46 | *) Q-2, Q-3, Q-4, Q-5 |
| BFS 46 A | *) Q-2, Q-3, Q-4, Q-5 |
| BFS 85 | Q-2, Q-3, Q-4, Q-5 |
| BFS 88 | *) Q-2, Q-3, |
| BSV 35 A | B-2, B-3, B-4 |
| BSV 52 | B-2, B-3, B-4 |
| BSV 65 | B-2, B-3, B-4, F-2, F-3, F-4, F-5 |

Gottlieb Götz

# Mittelfrequenz-Kondensatoren für die induktive Erwärmungstechnik

## Stand und Tendenzen

Erschienen in der Zeitschrift
Industrie-Elektrik und Elektronik

Von dem franz. Physiker d'Arsonval wurde bereits 1890 die Tatsache festgestellt, daß MF-Ströme gegenüber Wechselströmen niedriger Frequenz oder gar Gleichströmen vorteilhafte Effekte in der Erwärmung von Metallen aufweisen. Vor über 40 Jahren wies auch Schering darauf hin, daß die Verluste im Kondensatorfeld technisch zur Erwärmung nichtleitender Materialien ausgenutzt werden können. Diese beiden Untersuchungen über die induktive und die kapazitive Erwärmung von Metallen führten dann dazu, daß sich die Mittel- und Hochfrequenzwärme und ihre Anwendung im zunehmenden Maße durchsetzten. Ein weiterer wesentlicher Anreiz dazu war in der Tatsache begründet, daß ein reichliches Angebot elektrischer Energie vorhanden war.

### Die induktive Erwärmung

Im Prinzip erfolgt die induktive Erwärmung auf der Weise, daß die zu behandelnden Werkstoffe, Metalle und andere elektrischleitende Materialien, der Einwirkung eines elektrischen Wechselfeldes ausgesetzt werden. Bei dem sich ausbildenden Magnetfeld wird vom Werkstoff die elektromagnetische Wellenenergie absorbiert. Das Hauptmerkmal ist dabei, daß diese Energie im Werkstoff selbst in Wärme umgewandelt wird, also im behandelnden Material selbst erzeugt und nicht durch Strahlung zur gewünschten Stelle gebracht zu werden braucht. Zur Übertragung der Energie, die in Form von Niederfrequenz, Mittel- oder Hochfrequenz zugeführt wird, dienen als wichtige Hilfsmittel die 'Wärmewerkzeuge', die bei den induktiven Verfahren immer Spulenordnungen sind. Das zu behandelnde Gut wird also in das Magnetfeld einer Spule gebracht. Wird dann an die Spule eine Wechselspannung gelegt, so erfolgt in Abhängigkeit von spezifischen Eigenschaften des aufzuheizenden Materials die gewünschte Erwärmung.

Die Anwendung erstreckt sich auf das Glühen, Härten, Schmelzen und Warmhalten von Eisen oder Nichteisenmetallen. Der schlechte Leistungsfaktor der Induktionsspulen – bei 50 Hz $\cos \varphi = 0{,}2$ und bei 10.000 Hz $\cos \varphi = 0{,}02$ – erfordert den Einsatz von Kompensationsmitteln, die sich den unterschiedlichen Anforderungen anpassen müssen.

In Tafel 1 sind die hauptsächlichen Arbeitsgebiete der induktiven Erwärmung zusammengestellt und die bisher bekannten Kondensatorausführungen den Frequenzbereichen zugeordnet. Es sei noch ergänzt, daß sich auch das Vakuumschmelzen und Sintern gut eingeführt haben. Hier sind jeweils bestimmte Frequenzbereiche zugeordnet. Außerdem ist zu beachten, daß mit höherer Frequenz das Einsatzmaterial beim Schmelzen, Sintern, Härten, Löten und Anlassen kleiner werden muß, da die Eindringtiefe abnimmt.

Tafel 1: **Frequenzbereiche der induktiven Erwärmung**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Frequenz (Hz) | 50 / 60 | 150 . . . 300 | 500 . . . 12.000 | $10^5$ . . . . . $10^6$ |
| Bezeichnung | Netzfrequenz | Trifrequenz | Mittelfrequenz | Hochfrequenz |
| Energiequelle | Starkstromnetz | statischer Frequenz-vervielfacher | Maschinen-Umformer oder statischer Umrichter | Röhrengeneratoren |
| Anwendung | Schmelzen und Erhitzen zur Warmumformung | | | |
| | ab 2.000 Hz | | Oberflächenhärten von Stahl<br>Induktives Rohrschweißen | |
| | ab 10.000 Hz | | Hart- und Weichlöten | |
| | | Härten von Stahl, Anlassen | | |
| | ab 5.000 Hz | | Bearbeiten von gehärtetem Stahl | |
| Kondensatoren-Ausführung | Papier- und Plastik-Film-Kondensatoren, Luft- oder Wasserkühlung | | | |
| | Metall-Papier-Kondensatoren | | | |
| | ab 2.000 Hz | | Plastik-Film mit Polycarbonat-Dielektrikum, Wasserkühlung | |
| | ab 8.000 Hz | | Plastik-Film mit Polystyrol-Dielektrikum, Luftkühlung | |
| | | | | Keramische Kondensatoren<br>Luft- oder Wasserkühlung |

## Kondensatoren für Multifrequenzen

Für die Anwendung von Multifrequenzen werden statische Frequenzvervielfacher, z. B. Verdreifacher für 150 Hz, eingesetzt, wobei z. B. aus einem 3-phasen-Netz mit 50 Hz durch eine Siebschaltung die 3. Harmonischen ausgewählt werden.

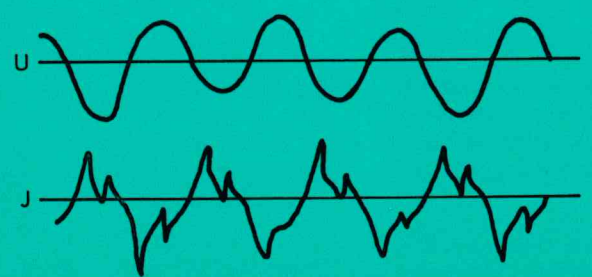
Die gewünschte Sinusform des 150 Hz-Stromes wird durch Zwischenschalten von statischen Kondensatoren erreicht. Die Belastungen der Kompensationsmittel auf der 50 Hz- und 150 Hz-Seite durch Spannung und Strom gehen aus den Oszillogrammen nach Tafel 2 hervor. Unterschiedlich sind dabei die Phasenlagen und der Zustand des Schmelzgutes. Es soll mit den Oszillogrammen lediglich veranschaulicht werden, in welchem Umfang besonders die 50 Hz-Einheiten den Oberwellenbelastungen ausgesetzt sind.

Neue Entwicklungen haben daher diese Strombelastungen zu berücksichtigen. Von grundlegender Wichtigkeit ist hierbei die ausreichende dynamische und elektrische Bemessung der Stromleitwege.

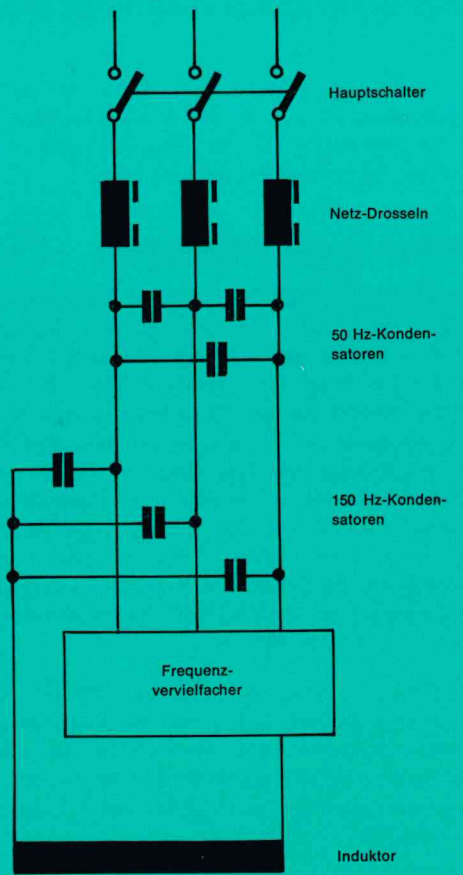
Tafel 2

Nachdem sich bereits seit über 15 Jahren wassergekühlte 50 Hz-Kondensatoren auf dem Markt befinden und sich eine Induktionsspule nur mit Wasserkühlung bei wirtschaftlicher Ausnutzung betreiben läßt, bietet sich auch für den Multifrequenzkondensator die Flüssigkeitskühlung an. Bei gleicher Feldstärkenbeanspruchung des Dielek-

Phasenlage induktiv, Charge zähflüssig
50 Hz-Batterie




Phasenlage induktiv, Charge flüssig
150 Hz-Batterie




Statischer Frequenzverdreifacher mit Oszillogrammen
über die Kondensator-Belastungen (Maßst. unterschiedl.)

trikums erhöht sich die Leistung eines statischen Kondensators proportional mit der Frequenz, so daß es theoretisch möglich wäre, bei einer Frequenzverdreifachung eine 50 Hz-Einheit mit der 3-fachen Leistung zu betreiben. In der Praxis läßt sich diese Möglichkeit aber noch nicht voll ausschöpfen, da der Strom und die Verluste im gleichen Verhältnis zunehmen. Hierdurch bleiben die Gehäuseleistungen vorerst mit 300 bis 500 kvar in Multifrequenzanlagen begrenzt, sofern sie mit Wasser gekühlt werden.

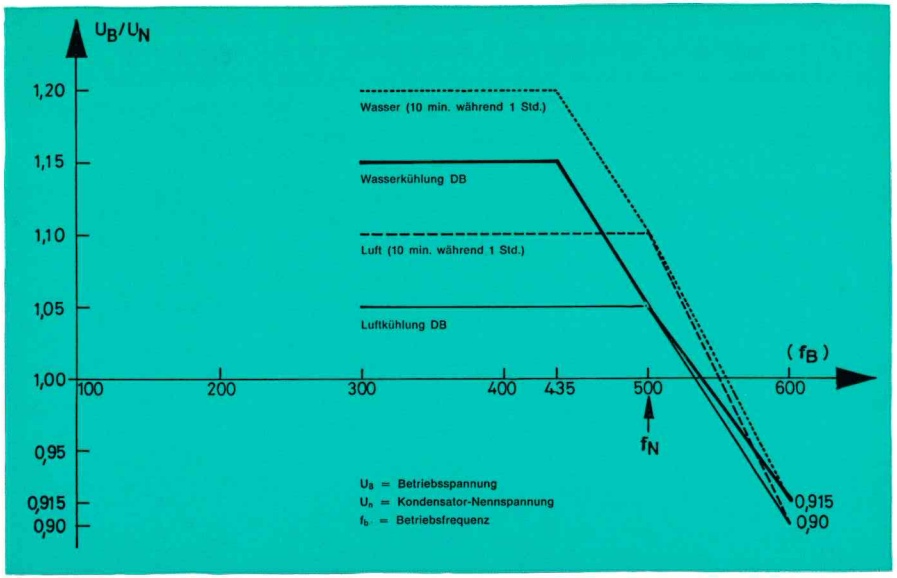
Durch den Einsatz von neuartigen Konstruktionen in Verbindung mit einem Plastikfilm-Dielektrikum wird es in den nächsten Jahren möglich sein, die Abhängigkeiten voll auszuschöpfen, d. h. die Leistungsgrößen bei 150 Hz-Kondensatoren werden der 3-fachen 50 Hz-Leistung entsprechen.

## Mittelfrequenz-Kondensatoren

Bei 500 Hz beginnt der Bereich der Mittel- und Maschinenfrequenz. Bisher wurde dieser Bereich von den Ausführungsarten der rotierenden Maschinenumformer bestimmt. Je nach Fabrikat und vorhandener Netzfrequenz für den Antriebsmotor waren Frequenzen bis 12.000 Hz herstellbar. Die technische Entwicklung hat in den letzten Jahren zum Einsatz von sog. Schwingkreis- bzw. Parallelumrichtern geführt, bei denen statische Wechselrichter in Verbindung mit Kapazitäten die Frequenzen erzeugen. In diesen Anlagen kann die Spannung und Frequenz gesteuert werden, so daß für den Schmelz- und Erwärmungsprozeß die wirtschaftlich optimale Anpassung vorgenommen werden kann. Die bisher in der Praxis bis zu Leistungen von 3.000 kW angewandten Frequenzen liegen für das Schmelzen zwischen 300 bis 1.200 Hz, für das Schmiedeerwärmungsprogramm zwischen 1.800 Hz und 4.000 Hz. Auf dem Markt werden heute schon Parallelumrichter angeboten, die bis zu einer Arbeitsfrequenz von 12.000 Hz vorgestoßen sind.

Die benötigten Leistungs-Kondensatoren müssen sich den Forderungen der Anwendungstechnik anpassen. In Anlagen mit Maschinenumformern werden sie zumeist als Parallelkapazitäten mit festen Frequenzen und Spannungen benötigt, in kleinem Ausmaß als Serien-Kondensatoren für den Schutz des Generators. Die Umrichteranlagen benötigen demgegenüber Kondensatoren, bei denen Spannung und Frequenz in gewissen Bereichen variabel sind.

Während die für Umformeranlagen benötigten Kondensatoren in den zulässigen Belastungen durch die bestehenden Vorschriften VDE 0560, Teil 9, und IEC-Publication 110 festgelegt sind, erfordert das neue Gebiet der Umrichteranlagen für die Kondensatoren im Schwingkreis andere Bedingungen. Tafel 3 gibt den Frequenzbereich von




Zulässige Spannungsbelastung in Abhängigkeit von der Frequenz bei 500 Hz-Kondensatoren für Wechselrichteranlagen

Tafel 3

300 bis 600 Hz die zulässige Spannungsbelastung der eingesetzten Leistungskondensatoren an.

Wie aus dem Diagramm zu ersehen ist, wechselt die Spannung und der Strom proportional in Abhängigkeit von der Frequenz innerhalb bestimmter Grenzen. Die Leistung ist hierbei konstant.

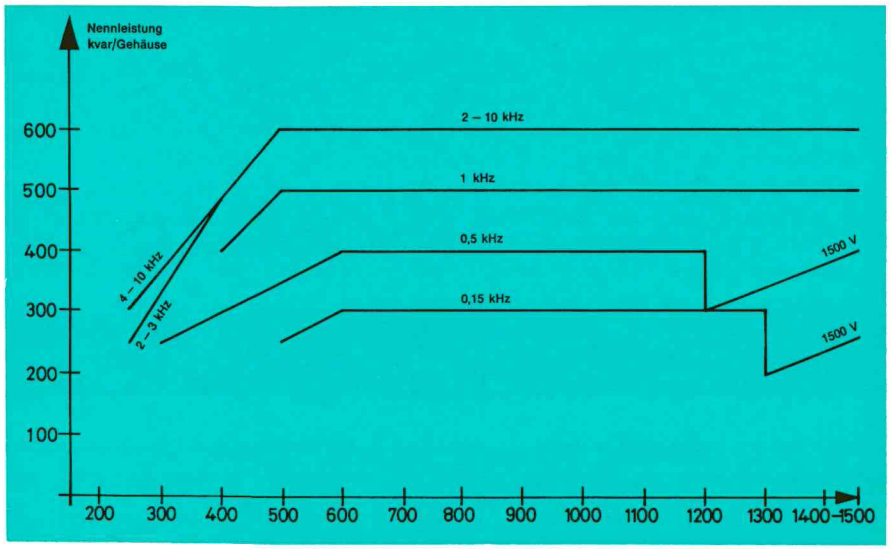
Der zukünftige Einsatz macht jedoch eine erhebliche Erweiterung dieser Grenzen erforderlich.

Unabhängig vom Aufbau einer Mittelfrequenzanlage haben sich wassergekühlte Kondensatoreinheiten bewährt, die nur einen geringen Teil der Kühlflüssigkeit beanspruchen, wie sie bereits für den Induktor benötigt wird. Damit ist eine Verkleinerung der Kondensatorbatterien möglich, ohne daß für den Kühlbedarf ein besonderer Aufwand erforderlich wird.

## Bauformen

Für größere Kapazitäts- und Leistungsgrößen hat sich die prismatische Bauform als vorteilhaft erwiesen. Diese Leistungseinheiten können kompakt in die Anlagenteile

installiert werden, wobei die Montage je nach Anforderung – stehend auf der Schmalseite oder liegend auf der Breitseite – durchgeführt werden kann. Die für die Regelung benötigten kleineren Kapazitätswerte werden aus fertigungstechnischen Gründen vielfach in Rundbechern projektiert. In Tafel 4 sind die derzeitigen Leistungsgrößen in Abhängigkeit von der Betriebsspannung und -frequenz aufgeführt.




Gehäuseleistungen für wassergekühlte Mittelfrequenz-Kondensatoren
150 Hz – 2000 Hz – ESTAfol
3000 Hz – 10 000 Hz – ESTAmak

Tafel 4

Es ist bereits heute abzusehen, daß die Entwicklung zu noch höheren Gehäuseleistungen führen muß. Eine Verdoppelung erscheint bereits heute realistisch, sofern man die Stromführungen und die Kühlverhältnisse in ökonomischer Weise verbessern kann.

## Kühlung

Die Abführung der in den Kondensatoren für die Mittelfrequenztechnik erzeugten Verlustwärme erfordert einige Sorgfalt. Hiervon hängt entscheidend die Belastbarkeit der Kondensatoren und damit das Bauvolumen ab. Die Luftkühlung nimmt heute nur noch eine untergeordnete Stellung ein. Man unterscheidet Luftselbstkühlung, die vorwiegend bei kleineren Leistungsgrößen für den höheren Frequenzbereich angewendet wird, und Fremdbelüftung, die überwiegend im mittleren Leistungsbereich bei Frequenzen bis zu 500 Hz eingesetzt wird. Bei der Selbstkühlung wird der Kon-

densator durch eine natürliche Luftbewegung oder -strahlung gekühlt. Bei den Kondensatoren für Fremdbelüftung muß das Kühlmedium gezielt und beschleunigt zugeführt werden. Die Ablufttemperatur an den Kondensatoren ist mit 45°C begrenzt, so daß die Lüfterleistungen entsprechend zu dimensionieren sind. Als gebräuchlichste Kühlungsvariante hat sich jedoch die Flüssigkeitskühlung bei Mittelfrequenz-Kondensatoren mit hoher Leistungsdichte durchgesetzt.

Die Verlustwärme wird hierbei direkt am Entstehungsort erfaßt und über das Kühlmedium ausgetauscht. Die Kühlrohre können gleichzeitig als Stromführungen eingesetzt werden. Diese für Induktionsanlagen entwickelten Mittelfrequenz-Kondensatoren bringen eine Vereinfachung der Anlagenprojektierung, da es möglich ist, den Wasserbedarf der Induktionsspule vorher durch die Kondensatorbatterie zu führen. Hierzu ist es erforderlich, die Querschnitte der Kühlrohre so zu dimensionieren, daß sich ein Minimum an Druckabfall ergibt. Der Wasserbedarf einer Induktionsspule liegt in den meisten Fällen beim 2- bis 5-fachen des Bedarfes der Kondensatoren. Dieser Umstand ist auf die unterschiedlichen Verlustleistungen zurückzuführen. Andererseits kann mann im Hinblick auf die Temperaturfestigkeit des Dielektrikums für Mittelfrequenz-Kondensatoren nur eine Wasserauslauftemperatur von max. 40°C zulassen, gegenüber 65 bis 70°C bei der temperaturstabilen Induktionsspule. Die Aufgabenstellung an die Entwicklung wird es sein, in den nächsten Jahren Kondensatoren zu projektieren, die für den Betrieb mit höheren Wasserauslauftemperaturen geeignet sind.

Es ist die Angelegenheit des Anlage-Konstrukteurs, unter Berücksichtigung des Wassereingangsdruckes, der erforderlichen Wassermenge und der zulässigen Temperaturdifferenzen eine sinnvolle Wasserschaltung vorzunehmen. Das bei den Kondensatoren eingesetzte Kühlsystem muß es gestatten, pro Einheit eine Wassermenge von 20 l pro min. bei einem Druckabfall von nur 10 m WS hindurchzubringen. Erst dann sind die Voraussetzungen geschaffen, eine Serienschaltung der Kühlkreise von Kondensatorbatterie und Ofenspule durchzuführen. Da die Wassermenge, welche durch einen Kondensator fließt, bei einer Serienschaltung mit der Spule stets höher liegt als es dem Mindestbedarf entspricht, könnten theoretisch die kostspieligen Überwachungseinrichtungen wie Kontaktmanometer, Strömungswächter etc. entfallen. Andererseits ist ein Kondensator ein hochwertiges Gerät, das als Einzelelement gegen thermische Überlastungen, beispielsweise durch Verstopfung der Rohre, geschützt werden sollte. Hierfür bieten sich Thermostate an, die mit einer Signaleinrichtung und einer Wiedereinschaltsperre versehen sein könnten. Liegt die Meßstelle in der Nähe des Aktivmaterials und ist die Ansprechtemperatur auf einen unteren Grenzwert eingestellt, so kann beim Ausbleiben der Wasserkühlung die thermische Überlastung gemeldet werden oder über entsprechende Kontakte ein Abschalten der Anlage veranlassen. Die Signalein-

richtungen müssen dabei stets den gefährdeten Einzelkondensator anzeigen. Die Ansprechtemperatur sollte so eingestellt sein, daß auch bei Störungen in der Wasserversorgung die kritischen Erwärmungswerte im Wickel noch nicht erreicht werden. Dann besteht die Gewähr für eine unvermindert hohe Betriebserwartung auch bei Störungen im Kühlkreislauf.

Wie bei der luftgekühlten Kondensator-Batterie bestehen auch für wassergekühlte Einheiten bestimmte Wartungsanforderungen. Während bei einer Luftkühlung der Staub gefiltert werden muß, ein Windfahnenrelais die Luftströmung überwacht und ein Thermostat die Raumtemperatur nach oben begrenzt, so erfordert die Wasserkühlung entsprechende Filterungen von unreinem Wasser oder in bestimmten Zeitabschnitten die Säuberung des Kühlsystems. Der eingebaute Thermostat kontrolliert praktisch den erforderlichen Wasserdurchlauf. Die Industrie bietet heute sowohl für Schmutzablagerungen als auch für Kesselsteinbildungen Spülmittel an, die es dem Anwender ermöglichen, die Wasserwege stets offen zu halten, auch wenn die Wasserqualitäten nicht allen Anforderungen entsprechen. Praktisch gelten für die Wasserwege der Kondensator-Batterien die gleichen Wartungsbedingungen wie für eine Induktionsspule, da die eingesetzten Materialien einander ähnlich sind. Die Einwirkungen von Unterkühlungen im Winter müssen für beide Anlagenteile verhindert werden, da Leitungsbrüche die Folge wären.

## Aufbau

Das Dielektrikum für Mittelfrequenz-Kondensatoren bis zu 2.000 Hz wird zukünftig verstärkt aus biaxial gereckten Polypropylenfolien mit geringem ataktischen Anteil und einer verlustarmen Natronzellulose-Papier-Lage aufgebaut. Als Imprägniermittel wird ein flammhemmendes, mit besonderen Isomeren angereichertes Chlordiphenyl eingesetzt. Die Zusammensetzung ergibt sehr gute elektrische und thermische Eigenschaften. Durch entsprechende Zusätze im Tränkmittel wird erreicht, daß die Fremdionen gebunden und damit zusätzliche Verlustquellen vermieden werden. Kondensatoren für Betriebsfrequenzen höher als 2.000 Hz werden mit Polycarbonat-Dielektrikum aufgebaut. Die Tränkung erfolgt mit einem fossilen Öl.

Kondensatoren mit Polycarbonat-Dielektrikum werden überwiegend in Anwendungsgebieten mit kompakten Aufbauten eingesetzt, z. B. in der Schmiedeerwärmung. Naturgemäß sind hierbei für die Kondensatoren die Umgebungsbedingungen andere. Es können Temperaturen bis zu 70°C auftreten. Gegenüber der Polypropylen-Folie bietet die Polycarbonat-Folie mehr thermische Reserven. Deshalb wird sich diese Folie für das höhere Frequenzgebiet immer stärker durchsetzen.

Langfristig gesehen, gilt es für die Anlagentechnik auf dem Induktionsgebiet folgende Forderungen zu erfüllen:

extrem niedriger Kondensator-Verlust
mit geringer Frequenzabhängigkeit,

geringere Induktivitäten,

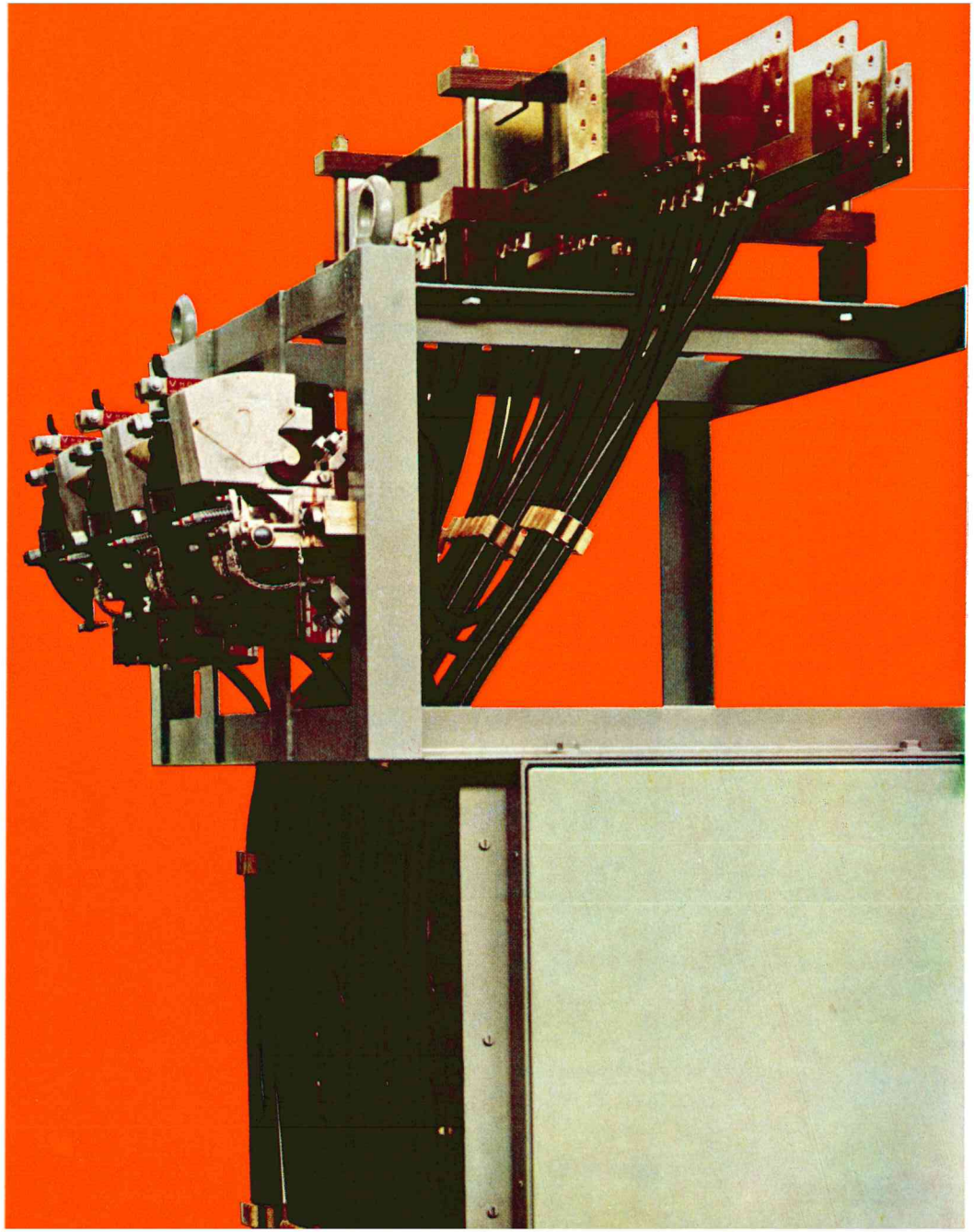
erhöhte Durchschlagssicherheit,

Verkleinerung der bisherigen Bauvolumen
bei Vergrößerung der Kondenator-Leistungen,

Verbesserung der Kühlsysteme innerhalb des Kondensators,

Erhöhung der Lebenserwartung.

Aufgrund des bereits heute erreichten Standes der Technologie im Kondensator-Bau und den sich schon jetzt andeutenden Perspektiven für die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten erscheinen die gestellten Forderungen realisierbar zu sein.



Schaltschütze und Sammelschienen-
anschluß einer NF-Kondensator-Batterie.

Roland Stögbauer

# Steigender Einsatz von Kunststoff-Film in Starkstrom-kondensatoren

Erschienen in der Zeitschrift
der elektromeister +
deutsches elektrohandwerk
Heft 23/73

## 1. Einführung

Seit immer zahlreicher neue Kunststoffe auf dem Markt erscheinen, hat sich das Interesse verstärkt, geeignete Kunststoff-Filme für das Dielektrikum in Starkstrom-Kondensatoren zu finden.

Das Ziel des Einsatzes ist, die Abmessungen und das Gewicht von Kondensatoren zu verringern, verbunden mit steigender Betriebszuverlässigkeit und sinkenden Betriebskosten. Bei der Reduzierung der Abmessungen stehen zumeist thermische Gesichtspunkte im Vordergrund. Kunststoff-Filme bringen gegenüber herkömmlichen Natron-Zellulosepapier eine erhebliche Verringerung der Verluste und damit der Erwärmung. Auch neue Anwendungsgebiete erfordern derartige Kondensatoren. Dabei sollen die Gesichtspunkte der Sicherheitsproblematik, welche speziell für Starkstrom-Kondensatoren von beträchtlicher Bedeutung sind, nicht unbeachtet bleiben. Ein Starkstromkondensator ist dahingehend definiert, daß er mit mindestens einem Pol am Versorgungsnetz angeschlossen ist. Die Anwendungsbereiche dieser Kondensatoren sind in den VDE-Vorschriften 0560 Teil 1 bis 12 näher erläutert. Wegen der unterschiedlichen Anforderungen haben sich auch verschiedene Technologien für das Dielektrikum dieses Kondensators durchgesetzt.

Aufgabe des Aufsatzes soll es sein, die Eigenschaften von Kunststoff-Film bzw. damit aufgebauten Kondensatoren in Starkstromanlagen darzulegen.

Dabei soll sowohl auf die Vorteile als auch auf die möglichen Nachteile eingegangen werden.

## 2. Allgemein

Herkömmliche 50/60 Hz-Starkstromkondensatoren waren zumeist aufgebaut mit Natron-Zellulosepapier als Dielektrikum und Aluminium als Elektroden oder auf Papier aufgedampfte Metallbeläge wie Zink oder Aluminium.

Die Imprägnierung erfolgte mit Askarelen im ersten Fall und Mineralöl oder Polyisobutylen im zweiten Fall. Je nach Anwendungsgebiet haben sich verschiedene Technologien durchgesetzt.

Bei der Wahl von neuen Kunststoff-Filmen für das Dielektrikum von Starkstromkondensatoren ist zu berücksichtigen:

Vermeidung von Glimmerscheinungen
Verträglichkeit mit dem Imprägniermittel (bei imprägnierten Typen)
Gleichmäßige Filmqualität
Verlustabführung innerhalb des Kondensators

Günstige Feldstärkenaufteilung innerhalb der einzelnen Komponenten

Für Filmkondensatoren mit Aluminiumfolie als Belag haben sich drei Typen herauskristallisiert. Der eine ist das Polypropylen-Dielektrikum mit Askarelimprägnierung, wobei diesem eine Lage Natronzellulose-Papier beigefügt sein kann.

Als zweites das Polycarbonat-Dielektrikum mit Mineralölimprägnierung, ebenfalls teilweise mit Papierzwischenlage.

Drittens sei Polystyrol erwähnt. Auch wenn die Bedeutung dieses Films für Starkstromkondensatoren rückläufig ist, so hat sich dieser Kunststoff beim Einsatz im hohen Frequenzbereich $\geqq$10 kHz hervorragend bewährt.

Kondensatoren mit aufgedampftem Metall als Belag haben unterschiedliche Aufbauweisen. Auch hier kommen hauptsächlich das Polypropylen und das Polycarbonat zum Einsatz. Derartige Ausführungen werden z. Zt. mit Mineralöl bzw. Polyisobutylen imprägniert, da eine Imprägnierung mit flammwidrigem Askarel noch nicht möglich erscheint. Die Ursache hierfür liegt in der Entstehung von Salzsäure bei einem Ausbrennvorgang.

Für Spannungen $\leqq$280 V können Kondensatoren mit einem einlagigen, bedampften Dielektrikum ohne Imprägnierung eingesetzt werden.

## 3. Eigenschaften von Polypropylen und Polycarbonat

Aus nachfolgender Aufstellung gehen die wichtigsten Eigenschaften hervor:

| | Polypropylen | Polycarbonat |
|---|---|---|
| Dichte [g/cm³] | 0,91 | 1,21 |
| Dielektrizitätskonstante DK bei 50 Hz | 2,2 | 2,8 |
| Verlustfaktor tan $\delta$ bei 50 Hz | $2 \times 10^{-4}$ | $10 \times 10^{-4}$ |
| Durchschlagsfestigkeit [V/µ] | 250 | 180 |
| Oberflächenwiderstand [Ω] | $>10^{14}$ | $3 \times 10^{13}$ |
| Spez. Durchgangswiderstand [Ω/cm] | $>1 \times 10^{17}$ | $1 \times 10^{17}$ |
| Schrumpfung bei 100°C / 15 Minuten | $\leq$2,5% | 0 |
| Zugfestigkeit längs [kp/mm²] | 11–18 | 22–28 |
| Zugfestigkeit quer [kp/mm²] | 18–24 | 8–9 |
| Schmelzpunkt [°C] | 165 | 230 |
| Struktur paraffinisch | 100% | 25% |
| Struktur aromatisch | 0% | 75% |

| | Polypropylen | Polycarbonat |
|---|---|---|
| Beständigkeit bei 100°C / 15 h in: | | |
| Polyisobutylen | + | + |
| *) Mineralöl | + | + |
| Askarel $\gamma$ = 1,35 [g/cm³] | + | 0 bis – |

*) aromatisch 16%, paraffinisch 50%, naphthenisch 34%;
Zeichenerklärung: + beständig, 0 bedingt, – nicht beständig.

| | | |
|---|---|---|
| Quellung bei 100°C / 15 h in: | | |
| Polyisobutylen | 12,6% | 0 |
| Mineralöl (Zusammensetzung wie ber. ausgef.) | 13,5% | 0 |
| Askarel $\gamma$ = 1,35 [g/cm³] | 12% | nicht beständig (20% Schrumpfung) |

**Diffusion durch den Film bei 100°C, 100 g Flüssigkeit in einem Beutel**

| | | |
|---|---|---|
| Polyisobutylen | 15 Minuten | keine, nach 24 h |
| Mineralöl | 15 Minuten | keine, nach 24 h |
| Askarel $\gamma$ = 1,36 [g/cm³] | 30 Minuten | nicht beständig |

Den angeführten Werten ist noch hinzuzufügen, daß der Polypropylen-Film bezogen auf die Ausnutzung preisgünstiger ist. Die für den Einsatz als Dielektrikum zu beachtenden Parameter sind jedoch vielfältiger als es die kurze Übersicht erkennen läßt.

So ist zum Beispiel unter anderem die Abstimmung des Aromaten-Gehalts bei einigen imprägnierten Kondensator-Ausführungen von großer Bedeutung. Weiter die Oberflächenbeschaffenheit für Filme zur Metallisierung, die Ausheileigenschaften und das Verhalten bei Temperatur und Spannung, welches schon von Hersteller zu Hersteller des gleichen Filmtyps schwanken kann.

Es scheint zur Zeit noch notwendig zu sein, selbst die Fertigungsverfahren den jeweiligen Auslieferungschargen anzupassen.

## 4. Eigenschaften von Kunststoff-Film-Kondensatoren

Wie aus den Werten unter Absatz 3 hervorgeht, eignet sich Polypropylen hervorragend zum Einsatz für Starkstromkondensatoren. Die Imprägnierbarkeit ist, bezogen auf die aufgeführten Imprägniermittel, ausgezeichnet. Eventuelle Hohlräume im PPN-Film werden ausgefüllt. Dadurch ergibt sich eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Überspannungen. Für die metallisierten Typen in trockener Ausführung (nicht imprägniert) erhält man ausreichende Ausbrenneigenschaften. Die hohe Temperaturbeständigkeit von Polycarbonatfilm kann in einigen Anwendungsbereichen – Kondensatoren für f $>$2 kHz in Schrankbauweise – voll ausgenutzt werden. Die Nachteile, wie hoher tan $\delta$, schlechte Imprägnierbarkeit, mangelnde Ausbrenneigenschaften verhindern die Erschließung von noch größeren Anwendungsbereichen.

Durch den Einsatz der vorgenannten Kunststoff-Filme läßt sich das Volumen pro Leistungseinheit etwa auf die Hälfte und mehr gegenüber Kondensatoren mit reinem Papierdielektrikum bringen. Verluste reduzieren sich für imprägnierte Kondensatoren auf ca. 30% gegenüber der reinen Papier-Ausführung. Die Typen mit Kunststoff-Film ohne Papier als Zwischenlage haben sogar nur noch etwa 10% der Verluste von imprägnierten Papier-Kondensatoren. Kunststoff-Film-Kondensatoren – mit und ohne Papier – können sich deshalb bei Einsatz mit größerer Leistung gegenüber herkömmlichen Papier-Kondensatoren innerhalb von 5 bis 10 Jahren allein über die eingesparten Wattverluste amortisieren.

Wegen der verringerten Abmessungen pro Leistungseinheit wird der Raumbedarf verkleinert, das reduzierte Gewicht spart Betriebskosten. Speziell in der Verkehrstechnik sind neue Entwicklungen ohne Kunststoff-Film-Kondensatoren kaum mehr möglich. Für die verschiedenen Aufbauweisen können etwa folgende Spannungen oder Vielfache davon zugeordnet werden:

| | |
|---|---|
| $\leqq$280 V: | metallisiertes PPN, unimprägniert. |
| $>$280 V $\leqq$ 600 V: | beidseitig metallisiertes Papier als Belag und PPN als Dielektrikum. Metallisiertes Papier mit PPN oder Polycarbonat als Dielektrikum, imprägniert. |
| $>$380 V $\leqq$1750 V: | Aluminiumfolie als Belag und Mischdielektrikum, PPN-Papier bzw. reines PPN-Dielektrikum, imprägniert. |
| $>$250 V $\leqq$ 800 V: | Aluminiumfolie als Belag und Mischdielektrikum, Polycarbonat-Papier bzw. reines Polycarbonatdielektrikum, imprägniert. Diese Typen sind speziell für den Einsatz bei f $>$2000 Hz vorgesehen. |

## 5. Sicherheitsanforderungen

Wie im vorhergehenden Abschnitt ausgeführt, lassen sich Kondensatoren mit Kunststoff-Film als Dielektrikum in Starkstromanlagen einsetzen. Dabei muß in 2 Arten unterschieden werden:

a) kurzschließende Typen

b) nicht kurzschließende Typen.

Bei auftretenden Überlastungen oder am Ende der Lebensdauer kann ein Durchschlag im Dielektrikum eingeleitet werden. Bei den Kondensatoren mit Aluminiumfolien als Belag bildet sich in der Regel eine definierte Kurzschlußstelle aus. Der Widerstandswert geht gegen Ohm. Metallisierte Kondensatoren können je nach Herstellverfahren der Gruppe a) oder b) zugeordnet werden. Im zweiten Fall brennt der aufgedampfte Belag an der Kurzschlußstelle weg. Hierzu wird keine Energie aus dem Versorgungsnetz benötigt. Der Kondensator ist somit nicht kurzschließend, bezogen auf das Versorgungsnetz.

Die Sicherheitseinrichtungen der Kondensatoren müssen darauf abgestimmt werden. Dazu ist eine genaue Kenntnis der Vorgänge während des Ausfalls notwendig. Hat man festgestellt, zu welcher Art der Kondensator gehört, so können für den kurzschließenden Typ Einzelwickelabsicherung mit Schmelzsicherungen und für den nicht kurzschließenden Typ Überdrucksicherungen vorgesehen werden. In der Praxis hat sich für Kleinkondensatoren eine kombinierte Sicherung als die beste Lösung herausgestellt, da z. B. bei einer Reihenschaltung mit einer Drossel der nötige Energienachschub für das Schmelzen einer Sicherung fehlt. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß bei Kondensatoren nach b), speziell in unimprägnierter Ausführung, das Gasverhalten des Films sehr unterschiedlich sein kann. Hier ist es unbedingt erforderlich, das Metallgehäuse beizubehalten und eine konstruktive Maßnahme vorzusehen, die das Abschalten vom Netz bewirkt. Bei der Auslegung ist zu berücksichtigen, daß die Energie des auf den Fehler speisenden Netzes konstant ist. D. h., ob ein kleiner Kondensator oder einer von größerer Bauart eingesetzt wird, die Sicherheitsanforderungen müssen gleich hoch sein. Trotz der speziell in den letzten Jahren verfeinerten Sicherheitstechnik sollte der selektiv arbeitende Anlagenschutz nicht vernachlässigt werden. So ist bei Mittelspannungsbatterien trotz Einzelabsicherung der Wickel ein Außenschutz, z. B. der Einbau eines Unsymmetrieschutzes, ratsam.

## 6. Nachteile

Nachteile der Kunststoff-Film-Kondensatoren ergeben sich hauptsächlich für Hersteller. Die Herstellverfahren sind wesentlich schwieriger geworden. Für die Herstellung und

Ausnutzung derartiger Kondensatoren sind langjährige Untersuchungen und Betriebserfahrungen notwendig. Vom Materialeinsatz gesehen ist man gezwungen, aufwendige Prüfungen zu betreiben, um die Funktionsfähigkeit zu erkennen und sicherzustellen.

Die Erfahrungen mit den trockenen Typen sind noch nicht so weit gediehen, um speziell von den Sicherheitsanforderungen her ein abschließendes Urteil zu fällen. Untersuchungen haben jedoch eindeutig gezeigt, daß die Sicherheitsvorrichtungen sehr viel mehr Aufmerksamkeit erfordern als bei imprägnierten Kondensatoren.

## 7. Zusammenfassung

Die Ausführungen zeigen die Vorteile für den Anwender von Kunststoff-Film-Kondensatoren. Die hervorragende Eignung von Polypropylen in Starkstromkondensatoren ergibt sich unter anderem aus den niedrigen dielektrischen Verlusten, der Tränkbarkeit und der Eignung zur Metallisation. Es wird die Zuordnung zu den einzelnen Spannungsbereichen aufgeführt und damit nachgewiesen, daß Kunststoff-Film-Kondensatoren in der gesamten Starkstromtechnik eingesetzt werden können. Die Sicherheitsproblematik ergänzt die Ausführung und weist auf die notwendigen Maßnahmen hin. Nachteile ergeben sich nur für den Hersteller durch die aufwendigeren Prüf- und Herstellverfahren. Mit den neuen Kunststoff-Film-Kondensatoren in Starkstromanlagen ist ein neues Bauelement geschaffen worden, das die technische Weiterentwicklung auf dem gesamten Elektrosektor günstig beeinflußt.

Herausgeber: ERNST ROEDERSTEIN · Spezialfabrik für Kondensatoren GmbH
Veröffentlichungen auch auszugsweise nur mit Genehmigung des Herausgebers
April 1974

KLISCHEES: REPRO GMBH, 8300 LANDSHUT/BAY. · DRUCK: HANS HAUSLER, 8300 LANDSHUT/BAY. · GESTALTUNG: AGRI
FOTO: STEPPE, 83 LANDSHUT/BAY.